TÉCNICA

REVISTA DE ENGENHARIA
DOS ALUNOS DO I.S.T.

N.º 250 - MARÇO - 1955

CIMENTO SECIL

O CIMENTO PARA OBRAS DE GRANDE RESPONSABILIDADE

4 fornos rotativos — 300.000 toneladas anuais

Fábrica no Outão — Setúbal

Lisboa — Rua do Comércio, 56-3.º

ELECTRO-ARCO
LIMITADA

ELECTRODIOS
POSTOS E ACESSORIOS
PARA A SOLDADURA ELECTRICA

MATERIAL APROVADO PELO
LLOYD'S REGISTER OF SHIPPING

FÁBRICA E LABORATÓRIOS
VENDA NOVA — AMADORA
LISBOA
RUA SILVA CARVALHO, 239 — TEL 63649
PORTO
RUA DO BOLHÃO, 216 — TEL 21277

CAVAN

SOCIEDADE
PORTUGUESA

POSTES DE BETÃO PARA
LINHAS ELÉCTRICAS
MOSAICOS E AZULEJOS

COLUNAS PARA
ILUMINAÇÃO PÚBLICA
MANILHAS PARA ESGOTOS

RUA D. ESTEFÂNIA, 42
TELEF. 47812-50129
LISBOA

TÉCNICA

REVISTA DE ENGENHARIA DOS ALUNOS DO INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

Ano XXIX - N.º 250 Março de 1955

Redacção e Administração: AVENIDA ROVISCO PAIS, I.S.T. * LISBOA-N. * TELEF. 77 0144 (Linha 50)

INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO
N.º 631
BIBLIOTECA

DIRECTOR
FERNANDO MARQUES DE OLIVEIRA

ADMINISTRADORES
VIRGÍLIO CARDOSO IGREJA
JOSÉ DO SACRAMENTO COSTA

SECRETÁRIO
JORGE DO NASCIMENTO VALÉRIO

CORPO REDACTORIAL
ADELINO JOSÉ SOARES DE MELO
JOÃO PEDRO MOTA E MELO
MANUEL M. FRIAS DE ALMEIDA E SÁ
VIRGÍLIO LOPES CABRITA

NUMERO AVULSO 12$50

ASSINATURAS:

	3 N.os	5 N.os	10 N.os
Continente e Ilhas	32$50	50$00	95$00
Ultramar Português e Espanha	—	55$00	100$00
Estrangeiro	—	60$00	110$00

EDITOR E PROPRIETÁRIO
ASS. DOS ESTUD. DO I.S.T.

COMPOSTO E IMPRESSO NA
Tip. JORGE FERNANDES, L.DA
RUA CRUZ DOS POIAIS, 103
LISBOA

SUMÁRIO

CAPA — Vista geral do Laboratório de Química Orgânica do I. S. T., cujo apetrechamento foi em parte renovado recentemente.

Págs

Evaporação adiabática em contra-corrente
Pelo Eng.º Quím.-Ind. Luís A. de Almeida Alves 315

Le nouveau laboratoire de chimie organique de l'Institut Superieur Téchnique
Par Dr. P. A. Laurent 319

Notas informativas — **Elementos sobre a produção e consumo de energia na rede eléctrica nacional** 326

Estudo e controle do betão no estaleiro
Pelo Eng.º Civil (I. S. T.) A. de Sousa Coutinho 327

Revisão de métodos polarográficos de dosagem de catiões
Pela Eng.ª Quím.-Ind. (I. S. T.) Maria Teresa Águas da Silva 363

Do Mundo Técnico 370

Biblioteca 383

OS ARTIGOS PUBLICADOS NESTA REVISTA SAO DE EXCLUSIVA RESPONSABILIDADE DOS AUTORES

Índice Alfabético dos nossos anunciantes

A

Pág.

A. Gestetner, Ltd.ª . . . . . .
Agência Geral de Material Eléctrico, Ltd.ª XXIX
Ahlers, Lindley, Ltd.ª XVI
Alfredo Alves XXXVII
António Baró XXVIII
Azevedo & Pessi, Ltd.ª XXVIII

B

Bethlehem Steel XXIV
Blackwood Hodge XXXIV
Bouhon & Irmão, Ltd.ª XXVIII

C

Canelas & Figueiredo, Ltd.ª XVIII
Cimento Secil . . . . . 2.ª da capa
Companhia «Cimento Tejo» . . . . .
Companhia de Cimentos Brancos . . IV
Companhia União Fabril X
Construções Técnicas, Ltd.ª IV
C. Santos, Ltd.ª . . . . . II e XXXI

E

Edouard Dalphin . . . . . 4.ª da capa
Electro-Arco, Ltd.ª . . . . . 2.ª da capa
Emílio de Azevedo Campos & C.ª, Ltd.ª . . . . . XXIII e XXXI
Empresa de Cimentos de Leiria . . . XXX
Empresa Electro Cerâmica XXX
Empresa de Produtos Asfálticos . . . XXVI
Empresa de Sondagens e Fundações Teixeira Duarte, Ltd.ª . . . . . 3.ª da capa

F

F. W. Bridges & Sons, Ltd. XV
Fábrica Metalúrgica e Construtora CARAVELA, Ltd.ª XXV
Fábrica Portugal XXXVI
Fundição e Construção Mecânicas VI

G

General Electric Portuguesa . . . .

H

Henriques & Castro, Ltd.ª VIII
Horácio Alves XXXII

I

INEL . . . . . .

I

Pág.

IST XXXVIII

J

J. E. Michaëlis de Vasconcellos (Eng.º) XXXV
Jayme da Costa, Ltd. XIX

L

Leacock (Lisboa), Ltd.ª XI

M

Mabor XXXII
Manil VIII
Máquinas de Precisão, Ltd.ª X
Martin, Leslie & C.ª Ltd. VI
Monteiro Gomes, Ltd.ª . . . XXVII e XXXIII

N

Nordberg . . . . . .

P

P. Bellasi . . . . . .
Papelaria Fernandes XVII
Pestana & Fernandes, Ltd.ª X
Pimentel & Casquilho, Ltd.ª III

S

Senna, Botto & Leitão, Ltd.ª XXIII
SKF XIV
SMEIA V
Sociedade Construtora Portuguesa, Ltd.ª I
Sociedade Ericsson de Portugal, Ltd.ª IX
Sociedade dos Mármores de Portugal, Ltd.ª XXXV
Sociedade Portuguesa do Acumulador Tudor . . . . . .
Sociedade Portuguesa Cavan . . . . 2.ª da capa
Socony-Vacuum Portuguesa XII
SOFAI, Ltd.ª . . . . . .
SOMEC . . . . . .
SONAP XX
Sondagens Ródio, Ltd.ª XXXII
SOPECATE XXXII
Standard Eléctrica VII

U

União Eléctrica Portuguesa . . . . .

V

V. T. Martins XXXV

TÉCNICA

DIRECTOR — FERNANDO MARQUES DE OLIVEIRA ADMINISTRADORES { VIRGÍLIO DOS REIS CARDOSO IGREJA / JOSÉ DO SACRAMENTO COSTA
SECRETÁRIO — JORGE DO NASCIMENTO VALÉRIO
CORPO REDACTORIAL — ADELINO JOSÉ SOARES DE MELO, AFONSO MANUEL BRAGA DA CRUZ, JOÃO PEDRO MOTA E MELO, MANUEL M. FRIAS DE ALMEIDA E SÁ E VIRGÍLIO LOPES CABRITA

Ano XXX - N.º 250 Março de 1955

C. D. 66.049

EVAPORAÇÃO ADIABÁTICA EM CONTRA-CORRENTE

PELO ENG.º QUÍMICO-INDUSTRIAL LUÍS A. DE ALMEIDA ALVES

Prof. do I. S. T.

O problema da evaporação adiabática em contra-corrente tem uma importância técnica muito grande por estar na base do projecto das torres de evaporação (ou de refrigeração) e de humidificação. No artigo sobre «Secagem» (1), chegou-se à formula clássica com a seguinte forma

$$\int_{\theta_o}^{\theta_f} \frac{d\,\theta}{\theta - \theta_h} = -\frac{h_c\, a\, V}{G\, C_h} \quad ,$$

em que:

θ = temperatura do gás (°C)

θ_h = temperatura do termómetro húmido correspondente às condições do gás (°C)

h_c = coeficiente de transmissão de calor (grandes calorias $m^{-2} . h^{-1} . {}^oC^{-1}$)

a = coeficiente de transformação da área em volume (m^{-1})

V = volume da torre (m^3)

G = caudal do gás ($m^3 . h^{-1}$)

C_h = calor específico do gás à temperatura θ_h (grandes calorias $Kg^{-1} . {}^oC^{-1}$).

(1) «Técnica», n.º 194, Julho de 1949, pág. 589.

Na integração supôs-se que $\theta_h = \theta_{oh}$ correspondente às condições iniciais, dada a dificuldade de encontrar uma lei de variação de θ_h em função da altura da torre. Neste artigo, vai definir-se essa lei de variação, ao mesmo tempo que se estabelece um método sistemático de cálculo (2).

* * *

Consideremos uma torre de evaporação (fig. 1) e sejam θ, θ' e θ_h respectivamente as temperaturas do gás, do líquido e do termómetro-húmido, sendo esta definida, como se sabe, pela relação

$$h_c\,(\theta - \theta_h) = k'_g\, \lambda_h\, (s_h - s)\,, \ldots \quad (1)$$

sendo

k'_g = coeficiente de progressão do vapor formado através do filme de vapor, sendo

$$k'_g = \frac{M_g}{M_v}\, k_g \ (Kg . h^{-1} . m^{-2})$$

k_g = coeficiente de progressão referido à pressão ($Kg . h^{-1} . m^{-2} . atm^{-1}$)

M_g, M_v = Massas moleculares do gás e do vapor.

(2) Este cálculo faz parte, há alguns anos, do curso de Química Tecnológica, mas só agora se publica, por não ter havido interesse particular em fazê-lo antes.

λ_h = calor de vaporização do líquido à temperatura θ_h (grandes calorias . Kg^{-1})
s = saturação absoluta do gás
s_h = saturação de equilíbrio.

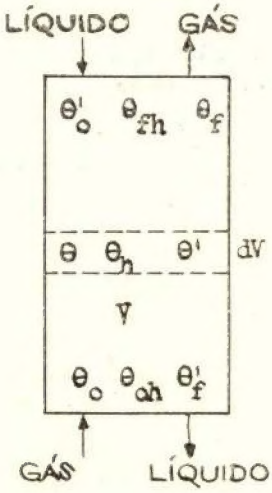


Fig. 1

Para um conjunto de valores (s, θ) esta equação representa uma recta, de coeficiente angular $\frac{h_c}{k'_g \lambda_h}$ cuja intersecção com a curva de equilíbrio dá os valores de θ_h e s_h (fig. 2). Como, no entanto

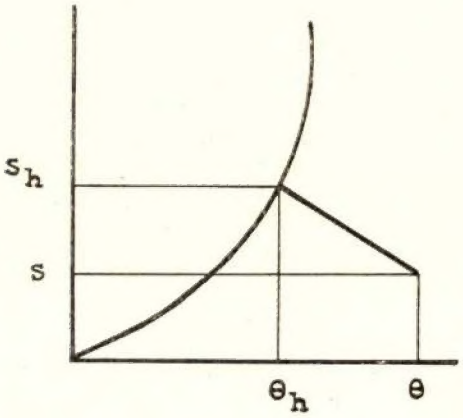


Fig. 2

θ e s variam com a altura da torre, θ_h e s_h variam também.

Fazendo o balanço das quantidades de calor postas em jogo, numa secção qualquer, é evidente que a quantidade perdida pelo gás é igual à que é recebida pelo líquido para aquecimento e vaporização (admitindo que não há sobreaquecimento do vapor formado):

$$G\, C_h\, (\theta_o - \theta) = L\, C_l\, (\theta'_f - \theta') + G\, \lambda_h\, (s - s_o) \quad \ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

L = Caudal do líquido ($m^3 . h^{-1}$)
C_l = Calor específico do líquido (grandes calorias . $Kg^{-1} . {}^oC^{-1}$)

Não se consegue chegar a resultados práticos relacionando as equações (1) e (2) e, por isso, para resolver o problema há que substituir a noção da temperatura do termómetro húmido θ_h pela de temperatura de arrefecimento adiabático θ_s que se define pela relação:

$$C_h\, (\theta - \theta_s) = \lambda_h\, (s_s - s) \quad \ldots\ldots \quad (3)$$

Esta equação representa também uma recta, de coeficiente angular $\frac{C_h}{\lambda_h}$ e que dá os valores θ_s e s_s por intersecção com a curva de equilíbrio

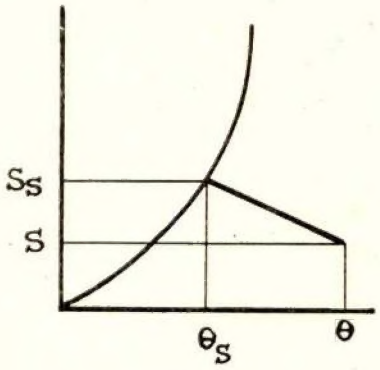


Fig. 3

(fig. 3). Resta discutir a legitimidade dessa substituição.

Comparando os coeficientes angulares das rectas (2) e (3), verifica-se que no caso das misturas ar — vapor de água, $\frac{h_c}{k'_g} = C_h$, embora não haja uma razão teórica que o justifique. Nessas condições, a equação (3) pode tomar a forma:

$$C_h\, (\theta - \theta_h) = \lambda_h\, (s_h - s) \quad \ldots\ldots\ldots \quad (4)$$

e os resultados simplificam-se.

Com efeito, tirando o valor de s de (4) e substituindo em (2), obtém-se:

$$s_h = \left(s_o + \frac{C_h}{\lambda_h}\theta_o - \frac{LC_l}{G\lambda_h}\theta'_f\right) + \frac{LC_l}{G\lambda_h}\theta' - \frac{C_h}{\lambda_h}\theta_h \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (5)$$

É agora esta equação que, juntamente com a curva de equilíbrio dá os valores de θ_h e s_h embora haja uma recta para cada valor de θ' como se mostra na fig. 4.

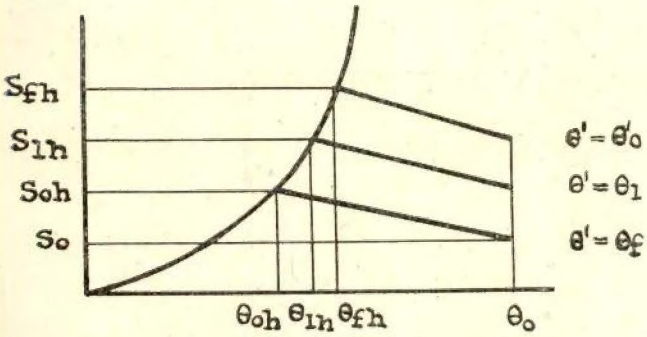


Fig. 4

A partir desta figura pode traçar-se a curva de θ_h em função de θ', como se indica na fig. 5 (notando que, como é evidente, esta curva só tem significado para $\theta' < \theta_h$). Fica assim estabelecida uma relação gráfica entre θ' e θ_h que permite resolver o problema.

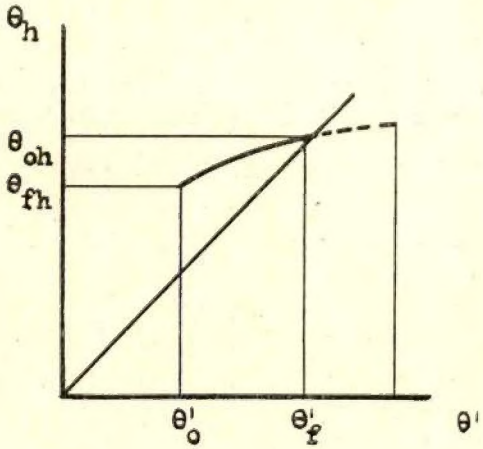


Fig. 5

Para isso, consideremos a transmissão de calor através do filme líquido:

$$\frac{dQ}{dt} = h'_c\, a\, (\theta_h - \theta')\, dV = -L\, C_l\, d\theta', \ldots\ldots (6)$$

em que

Q = Quantidade de calor transmitida (grandes calorias)

t = tempo (h)

h'_c = Coeficiente de transmissão de calor através do filme líquido (grandes calorias $m^{-2} . h^{-1} . {}^{o}C^{-1}$)

(o sinal — significa que θ' diminui à medida que o volume aumenta, por se tomar para origem das alturas a base da torre).

Integrando a equação (6) tem-se:

$$\int_{\theta'_f}^{\theta'} \frac{d\theta'}{\theta_h - \theta'} = -\frac{h'_c\, a}{L\, C_l}\int_0^V dV = -\frac{h'_c\, a}{L\, C_l}\, V \qquad (7)$$

O integral do primeiro membro calcula-se gràficamente a partir da curva $\theta_h = f(\theta')$. Se for V_t o volume total será:

$$\int_{\theta'_o}^{\theta'_f} \frac{d\theta'}{\theta_h - \theta'} = \frac{h'_c\, a}{L\, C_l}\, V_t \ldots\ldots\ldots\ldots (8)$$

Para o filme gasoso ter-se-á:

$$\frac{dQ}{dt} = h_c\, a\, (\theta - \theta_h)\, dV = -G\, C_h\, d\theta \ldots (9)$$

Como não se conhece θ_h em função de θ, mas sim em função de V a equação (9) tem de ser integrada como linear, isto é,

$$\frac{d\theta}{dV} = -\frac{h_c\, a}{G\, C_h}(\theta - \theta_h) = -\alpha\theta + \alpha\theta_h\,,$$

fazendo

$$\alpha = \frac{h_c\, a}{G\, C_h}$$

Integrando esta equação obtém-se:

$$\theta = e^{-\int \alpha dV} \left[\int \alpha \theta_h e^{\int \alpha dV} dV + C \right] =$$

$$= e^{-\alpha V} \left[\alpha \int \theta_h e^{\alpha V} dV + C \right] = e^{-\alpha V} (\alpha I + C)$$

Mas

$$I = \int \theta_h e^{\alpha V} dV = \frac{1}{\alpha} \theta_h e^{\alpha V} - \frac{1}{\alpha} \int e^{\alpha V} \frac{d\theta_h}{dV} dV$$

e, por isso, o valor do integral depende da forma de $\frac{d\theta_h}{dV}$. Há que introduzir, portanto, um critério de variação de θ_h com V o que depende das condições da prática.

2.º Congresso da Federação Internacional do Betão pré-esforçado

(F I P)

Quando do 1.º Congresso da FIP em Londres, em Outubro de 1953, o Grupo de Estudos Holandês (STUVO), que faz parte de «Betonvereniging» foi encarregado da organização do 2.º Congresso.

Este Congresso terá lugar em Amesterdão de 29 de Agosto a 2 de Setembro, no Instituto Real das Regiões Tropicais (Mauristskade 63, Amesterdão 0).

Comunicações — Todas as comunicações devem estar na posse dos secretários das associações nacionais antes de 1 de Fevereiro, após o que não poderão ser aceites. As comunicações devem ser dactilografadas numa das 3 línguas oficiais do Congresso (francês, inglês e alemão), não devem ter mais de 2500 palavras e devem ser acompanhadas de um resumo de 100 a 150 palavras nas 3 línguas. Na medida do possível as comunicações serão enviadas em 50 exemplares.

Todas as comunicações, relatórios e memórias serão enviadas aos membros inscritos no Congresso antes do começo do mesmo.

Quaisquer esclarecimentos podem ser prestados na Secretaria Geral ou pela Comissão de Pontes e Estruturas da Ordem.

C. D. 542.1 : 547

Le nouveau laboratoire de chimie organique de l'Institut Superieur Téchnique

PAR DR. P. A. LAURENT
PROF. À L'I. S. T.

L'enseignement supérieur des sciences expérimentales est divisé en deux parties : les cours et les travaux pratiques (T. P.).

A tort on met souvent l'enseignement théorique très au-dessus des T. P. (probablement parce que c'est le professeur qui les fait). Il est bon de rappeler que la tâche du professeur, en ce qui concerne son enseignement, est surtout de selectionner et de prédigérer la matière à enseigner afin de la rendre plus facilement assimilable. On conçoit aussi qu'un étudiant puisse apprendre les élements théoriques d'une discipline dans un livre, sans secours extérieur, mais bien entendu au prix d'un travail plus considérable.

La question est tout différente pour les T. P. Il est très difficile d'apprendre seul à travailler, et cela malgré tout l'ensemble de livres pratiques excellents qu'on trouve sur le marché.

L'expérience que doivent acquérir les étudiants a entre autres points fondamentaux deux aspects :

— une partie écrite, qu'on peut trouver dans les livres ;
— une partie d'exemple, faite tant par la démonstration d'une multitude de détails expérimentaux non écrits que par l'exemple du responsable qui doit provoquer l'intérêt au travail en montrant comment il faut pratiquer.

Les T. P. sont donc fondamentaux et irremplaçables, si l'on ne veut pas former des théoriciens sans idées pratiques et qui deviennent presque toujours nuisibles, car ignorants des difficultés experimentales.

En chimie ce point est encore plus important, car c'est sans doute la science qui exige la plus large formation pratique. Il faut former des chimistes sachant leur métier, connaissant la «cuisine chimique», plus que des jeunes gens qui ne connaissent les composés que par leurs formules.

Cette éducation ne peut se faire qu'au laboratoire.

C'est également là que se découvrent et se cultivent les qualités du chercheur qui plus tard apportera sa part expérimentale aux théories et sera ainsi un élément de la recherche scientifique.

Le laboratoire doit donc être un centre d'activité où le travail est agréable et où règne une ambiance de travail. Il est très possible d'arriver à ce résultat même avec des étudiants moyens, mais il faut avant tout une organisation mûrement réfléchie.

A titre d'exemple, qui n'a pas été frappé par le cas lamentable d'étudiants passant des heures à chercher un bouchon, un tube de verre, ou qui perdent un temps précieux pour obtenir tel ou tel matériel courant qui n'est pas disponible, ou doivent arrêter leur travail car il n'y a plus d'eau distillée rien que par manque d'organisation ? *

Ainsi, avec le concours provoqué de l'étudiant, qui se rend compte qu'on s'occupe de lui, il est relativement aisé d'arriver à l'organisation d'un laboratoire fonctionnant avec un minimum de heurts du point de vue activité et un maximum de rendement du point de vue ardeur au travail :

— par une organisation où rien n'est négligé ;
— par la bienveillance vis-à-vis des étudiants qui ne demandent qu'à apprendre ;

* C'est dans ce sens que pendant trois années nous n'avons acheter aucun apparail couteux. Touts les crédits ont été consacrés au materiel courant de laboratoire.

— par les conversations et l'exemple donné à la table de travail ;

— par l'exemple de la ténacité devant les échecs expérimentaux pour galvaniser la volonté d'aboutir.

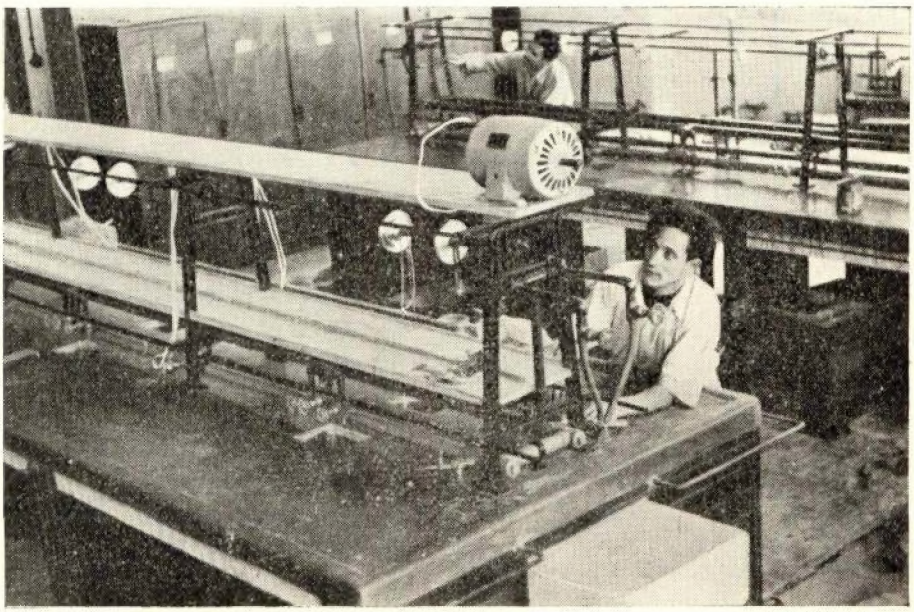
On arrive ainsi à créer l'ambiance nécessaire. Cette ambiance est un facteur souvent difficile à définir, mais qui se sent tout de suite pour un étranger qui entre dans un laboratoire et se rend compte instantanément s'il y a une ambiance de travail ou s'il n'y en a pas.

Sans vouloir exagérer, le laboratoire doit être un refuge où l'on vient oublier les soucis quotidiens, où ils sont remplacés par la satisfaction que donne un travail expérimental étroitement apparenté à la passion de la recherche.

Il résulte de tout ce qui précède qu'un laboratoire doit avoir une organisation technique aussi adaptée que possible au travail qui doit s'y effectuer. C'est ce que nous avons essayé de réaliser dans le nouveau laboratoire de chimie organique, entré en fonctionnement au cours de l'année scolaire 1953-1954.

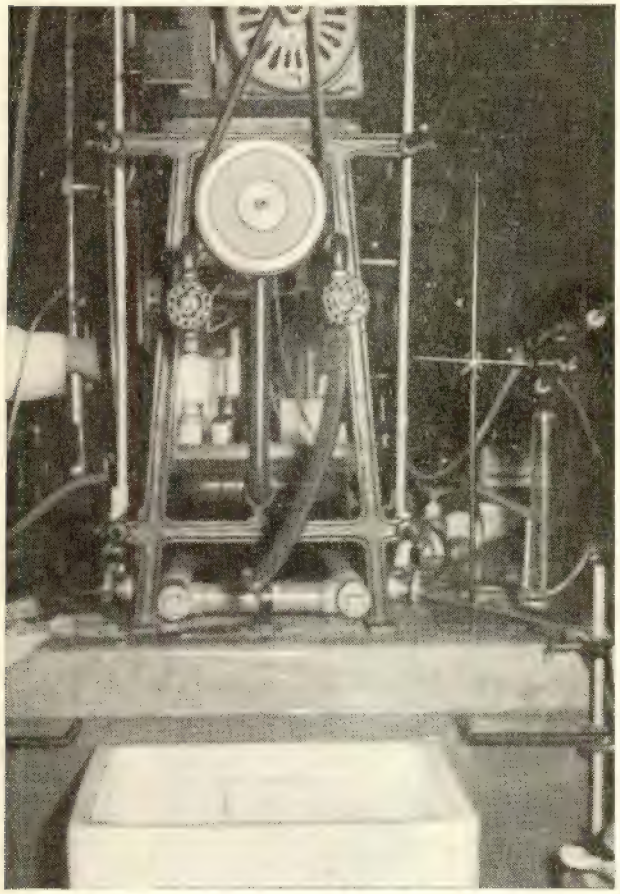
Ajoutons que nous nous sommes efforcés

Les tables de travail avant le transformation



Les tables de travail en cours de transformation

d'utiliser dans la construction, et dans la mesure du possible des produits d'origine nationale.



Vue de front d'une table

Caractéristiques de la nouvelle installation

Toutes les distributions sont faites par le haut (eau, gaz et électricité). Les conduites ont été calculées pour un débit suffisant.

L'ensemble des distributions peut être coupé par des robinets aisément accessibles. Il n'a pas été possible de prévoir des robinets à la porte de sortie : les adductions maitresses pré-existantes auraient nécessité de longues conduites avec de nombreux coudes, ce qui aurait entrainé des pertes de charge trop considérables.

Cet inconvénient est compensé par le fait que chaque table comporte un dispositif d'arrêt pour l'eau, le gaz et l'électricité. Il est ainsi possible d'isoler une table du circuit général, et une réparation ne paralyse pas tout l'ensemble.

Les conduites de gaz ne présentent aucune particularité.

Les conduites d'eau ne comportent que des robinets à vanne d'excellente qualité, qui ont été fabriqués au Portugal. Ils sont d'un bon marché relatif, faciles à entretenir ; ils sont durables et permettent un réglage très facile.

L'ensemble a permis de réaliser 24 places de travail dans le cadre existant, soit 48 étudiants travaillant par groupes de deux.

Chaque place est autonome, indépendante de la place voisine, et comporte toutes les adductions d'eau, de gaz et d'électricité. La force motrice est également distribuée à chaque place, et chaque groupe dispose d'un armoire qu'il peut fermer à clé.

Tables de travail

Le gros oeuvre des anciennes tables a été conservé. Un revêtement en ciment armé a été fait, présentant un profil légèrement incliné de l'extérieur vers le centre. Le tout converge vers un caniveau central. Un rebord d'environ 1 cm entoure toute la table.

Ce dispositif a l'avantage d'éviter, en cas d'accident, l'innondation de toute la paillasse et l'envahissement de l'autre moitié de la table. On évite ainsi la gêne réciproque entre groupes voisins, et de déteriorer les boiseries qui sont sous la table.

Le revêtement en plomb a des avantages qui compensent largement ses menus inconvénients.

Un reproche consiste dans le manque d'esthétique et un autre dans la sensibilité aux sels de mercure, par exemple. La couleur grise et l'aspect graisseux ne contribuent pas en effet à rendre l'aspect agréable. De plus, le plomb se raye facilement.

Les avantages, par contre, sont grands.

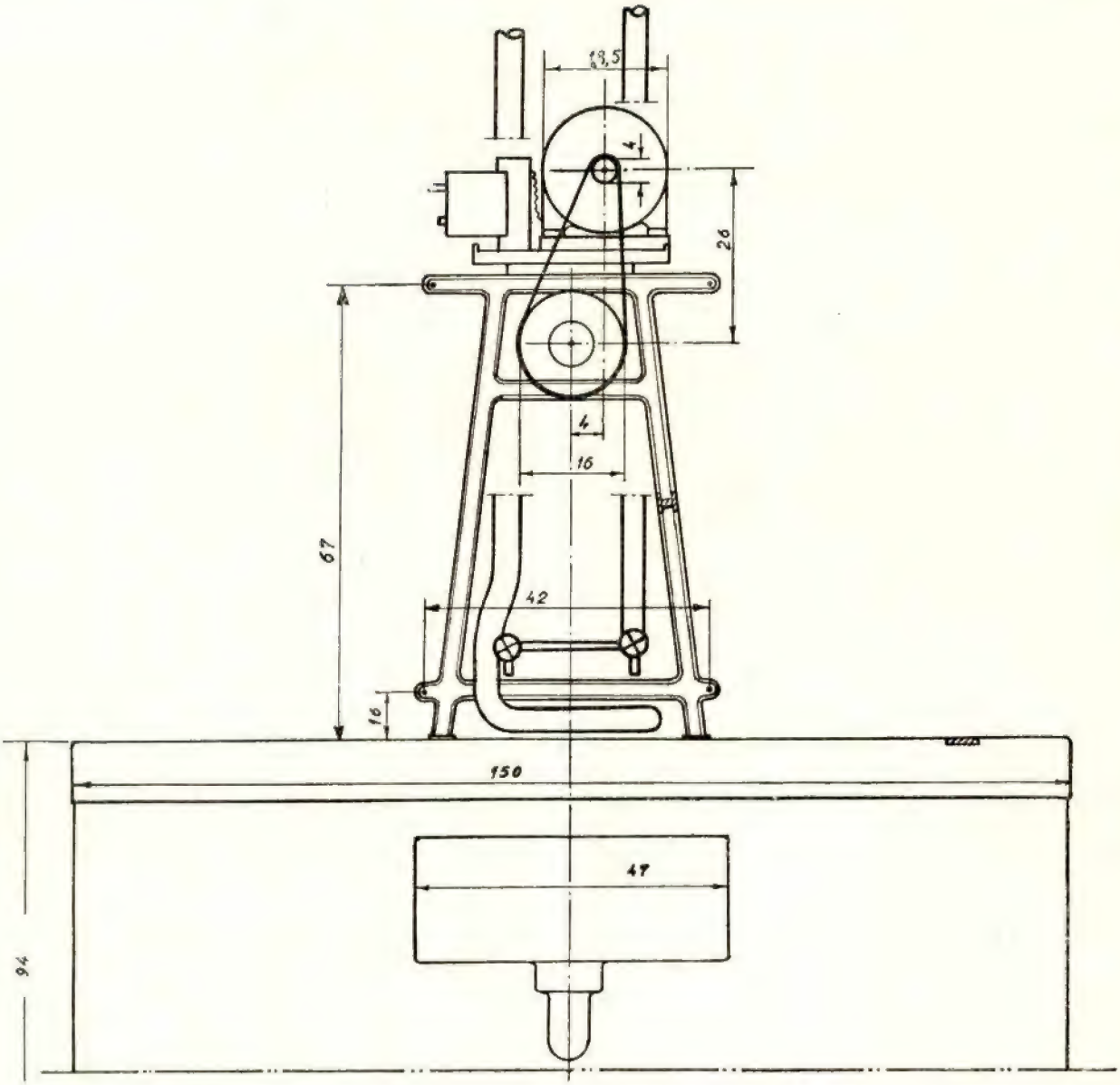
La pose est très facile et rapide et cela est très appréciable quand la surface à recouvrir est compliquée.

Il ne se produit jamais d'éruptions sur la paillasse, ce qui est souvent le cas avec les revêtements en dalles après une longue période de chauffe.

En cas de coupure, il est facile de «rapiécer» le plomb.

Enfin, la molesse relative du plomb évite beaucoup de casse de verrerie, ce qui a son importance au point de vue ecconomique.

Chaque table est munie d'une ceinture en tige



de fer, (ø = 14 mm) pouvant servir à des montages avec les tiges horizontales de la superstructure.

Cette ceinture évite aussi, à l'étudiant, de s'appuyer directement sur la table. La sécurité en est ainsi augmentée.

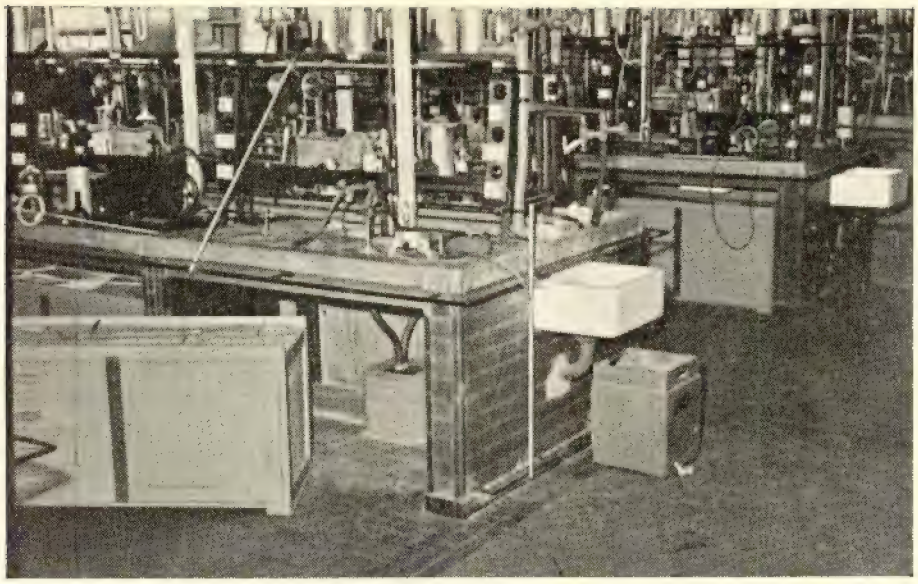
Superstructure

Pour chaque table il existe une armature métallique qui supporte à la fois les conduites de gaz et d'eau, et qui comporte des tiges longitudinales (ø 14 mm) permettant le remplacement des supports classiques dans le montage des appareils. Ce dispositif est complété d'une manière très heureuse par la ceinture qui entoure la table.

Cette superstructure est surmontée d'une planche.

Agitation

Un axe monté sur roulement à billes, entrainé par un moteur électrique, comporte tout au long une rainure. Chaque travée comporte deux roues à étages (chacune correspondant à un groupe de travail) qui peuvent glisser de long de l'axe par simple poussée de la main : la roue est entraînée par un taquet qui prend dans la



Détail de l'installation finale

rainure. L'ensemble a été calculé pour qu'il soit possible d'utiliser au mieux l'espace compris entre la transmission et la tablette de bois reposant sur les conduites d'eau. Chacun dispose ainsi de deux étages libres pour y placer les réactifs (en plus de la planche supérieure).

On a veillé à ce que la planche du dessus ne soit pas trop haute pour la taille moyenne des étudiants.

L'armature métallique a été conçue pour qu'il soit possible, d'adjoindre ultérieuremente de nouvelles conduites (par exemple, le vide ou la vapeur d'eau).

Infrastructure

Généralement les paillasses sont munies de mobilier en bois fixé après la table. Quand un accident se produit aux conduites d'évacuation il faut tout un travail de démontage de la menuiserie — ce qui entraîne, bien entendu, le déménagement du matériel entreposé — pour accéder aux conduites d'évacuation.

Nous inspirant de ce qui a été réalisé à l'École Normale Supérieure à Paris, nous avons remplacé la boiserie fixe par de petits meubles mobiles absolument indépendants de la table. On peut les enlever en quelques secondes sans toucher au matériel qu'ils contiennent, rendant ainsi immédiatement accessibles les conduits d'évacuation.

Chaque meuble comporte 4 tiroirs et une petite armoire. Le haut est muni d'un rebord qui permet de recevoir du matérial encombrant.

Distribution électrique

Comme il a déjà été indiqué, l'arrivée des conduites électriques se fait par le haut, ce qui évite tout danger de court-circuit lors d'une innondation.

Les conduites sont accessibles tout le long de leur parcours.

La distribution comporte pour chaque table les courants alternatif, monophasé, triphasé, et continu. Chaque table peut être isolée par des interrupteurs généraux.

Le rassemblement dans une petite boîte verticale des différentes prises de courant est très avantageux. Il consomme très peu de place utile. Les boîtes sont munies de portes faciles à ouvrir, ce qui permet une vérification très rapide de tous les circuits.

Les boites à fusibles sont du type tabatière et sont très rapidement remplacées en cas de court-circuit. Les prises sont du type standard, les prises spéciales protégées étant très chères et se corrodant presque aussi facilement que les autres. Le remplacement de ces prises ordinaires est facile et peu onéreux.

Le courant alternatif est de 220 Volts. Le courant triphasé 220-380 Volts. Pour le courant

continu, l'installation est faite et sera raccordée ultérieurement aux sources électriques du pavillon d'électricité.

Eclairage

L'éclairage actuel, insuffisant, a été augmenté par des lampes plus fortes. Cependant, un éclairage à tubes luminencents a été prévu. Il a été étudié par la maison Phillips avec une intensité de 300 lux par m², ce qui est admis comme une bonne moyenne.

Son installation entraînerait une économie sérieuse d'énergie électrique.

Sécurité

Trop souvent négligée, la sécurité a été sérieusement prise en considération. Une pharmacie de premier secours a été installée en collaboration avec le médecin de l'Association des Etudiants.

La lutte immédiate contre un incendie toujours à craindre dans un laboratoire de chimie organique, a été dotée de moyens énergiques: extincteurs à neige carbonique et extincteurs à mousse, extincteurs à nuage de carbonate.

Une douche puissante disposée près de la porte de sortie permet d'innonder en quelques secondes celui qui s'en sert. D'un accès facile, elle est vérifiée à intervalles réguliers.

Un seul inconvénient — et il n'est pas négligeable — est à signaler: ce laboratoire ne comporte qu'une seule porte. En cas d'accident grave il n'y a que cette seule issue de fuite.

La disposition des bâtiments ne permet malheureusement pas, sans dépense éxagérée, l'aménagement d'une deuxième issue.

Utilisation du vieux matériel

Avec un souci d'économie dont l'exemple nous vient de très haut, nous avons utilisé au maximum le vieux matériel devenu disponible. Les vieilles conduites d'eau et de gaz ont été réutilisées à d'autres fins. Les poignées circulaires des robinets à gaz ont été transformées en poulies. Les pièces de fixation en laiton ont été transformées en paliers ou en colliers, etc., etc. Ces transformations ont évité toute une accumulation de dépenses.

En résumé, chaque table de travail dispose de conduites de gaz, de 3 robinets d'eau, dont l'un à fort débit pour une trompe à eau, et deux autres pour faible débit (réfrigérants). Chaque place dispose de prises de courant continu, alternatif et triphasé, avec fusibles individuels.

Une roue mobile à l'étage supérieur distribue le mouvement.

Chaque place est également munie d'une armoire individuelle pouvant fermer à clé.

Contribution extérieurs et remerciements

Un grand nombre d'entreprises portugaises et étrangères ont immédiatement compris le devoir qu'elles avaient de contribuer à l'équipement et au fonctionnement du laboratoire. Elles perpétuent ainsi le noble geste des mécènes d'antan et, chose de loin non négligeable, se font par la même occasion connaître par les futurs ingénieurs en course d'étude qu'elles compteront sans doute parmi leurs clients.

Je tiens ici à exprimer en mon nom et en celui des etudiants mes remerciements sincères à chacune de ces maisons.

Ahlers Lindlay, Ltd.	Lisboa
A. E. G. Lusitânia de Electricidade	Lisboa
A Alumínia, Ltd.ª	Porto
Badische Anilin und Soda Fabrick	Ludwigshafen
Casa Bonnet	Lisboa
Ciba	Lisboa
Constructora de Esquentadores, Ltd.ª	Lisboa
Dérivés Résiniques et Terpéniques	Dax
Dyrup	Sacavém
Estabelecimentos Torres Pinto da Silva, Ltd.ª	Lisboa
Extintores Polar Total . . .	Ladenburg — — Mannheim
Fábrica de Condutores Eléctricos Diogo de Ávila . .	Lisboa
Fábrica de Esmaltagem . .	Lisboa
Fábrica de Fiação e Tecidos do Vale	Famalicão
Fábrica Nacional de Condutores Eléctricos, Ltd.ª . .	Amadora
Fábrica de Porcelana Vista Alegre	Lisboa
Fundições e Construções Mecânicas	Oeiras
Gaivotas, Ltd.ª	Lisboa

Indústrias Eléctricas Associadas	Lisboa
Instituto Pasteur	Lisboa
Lusalite — Soc. Portuguesa de Fibrocimento	Lisboa
Luso Belga (fábrica de borracha)	Lisboa
Manuel J. Monteiro & C.ª, Ltd.ª	Lisboa
Le Matériel Scientifique . .	Paris
Minchin	Porto
Fábrica de Borracha de Monsanto	Lisboa
Nobre & Silva — Plásticos .	Venda Nova
Pinturas Atlantic	Lisboa
Plásticos Rochas, Ltd.ª . .	Lisboa
Shell	Lisboa
Sociedade Industrial de Borracha, Ltd.ª	Amadora
Sociedade Portuguesa de Ar Líquido	Lisboa
Soda Póvoa	Póvoa de S.ta Iria
Sofai, Ltd.ª	Lisboa
Torres Pinto, Ltd.ª	Póvoa de S.ta Iria
Unisotra	Lisboa
Vidrotécnica, Ltd.ª	Lisboa

Les Ambassades des Etats Unis et de France ainsi que la Legation d'Allemagne ont également contribué à l'enrichissement du Laboratoire par des dons très généreux, surtout en livre scientifiques.

Tous ces dons ont rendu possible un équipement plus rapide du Laboratoire et surtout par l'économie réalisée, ils ont permis d'investir les crédits réguliers de l'I. S. T. des achats de matériel scientifique indispensable aux étudiants et aux chercheurs.

Chacun a ainsi aporté une contribution utile et généreuse qui n'avait pas le caractère d'une obole.

Au-delà de ces contributions matérielles, j'ai à coeur de remercier respectueusement Monsieur l'Ingénieur Frederico Ulrich, ancien Ministre des Travaux Publics, Directeur du Centre de l'Energie Atomique, qui a bien voulu accorder les crédits nécessaires à la rénovation du laboratoire, ainsi que Monsieur l'Ingénieur Saraiva e Sousa, Sous-Secrétaire d'Etat des Travaux Publics, qui a accéléré les formalités, Monsieur l'Ingénieur Viana, Directeur des Bâtiments de Lisbonne, qui a bien voulu intervenir pour aplanir de nombreuses difficultés administratives et qui nous a donné des instructions fort judicieuses qui ont été suivies.

D'autres collaborateurs du Service des bâtiments publics ont également pris une part importante dans la réalisation de ce travail. Ils ont exprimé le désir de rester anonymes. Respectant leurs voeux je les prie de trouver ici un sincère témoignage de satisfication.

Je tiens aussi à remercier, ici, mon assistant Monsieur l'Ingénieur José Nascimento, qui n'a pas ménagé sa peine, et je lui suis reconnaissant pour de nombreuses suggestions.

Du point de vue exécution des directives données, M. Louro, entrepreneur, a réalisé cet ensemble qui est toujours délicat et Monsieur João Rosa Maître des Ateliers de Charpenterie de l'I. S. T. a fabriqué le mobilier amovible sur nos indications.

Enfin, je suis heureux de donner ici une mention toute spéciale à Monsieur António Silva, Chef des Ateliers de serrurerie, qui a réalisé la partie difficile et délicate de la fonderie des supports de superstructure et de la pose des paliers de mouvement. Il a été un collaborateur remarquable, ne mesurant jamais ni sa peine ni son temps.

Enfin, d'une manière plus générale, dans le travail délicat et compliqué que constitue le réalisation d'un laboratoire, interviennent tant de personnes qui de loin ou de près ont contribué à cette réalisation. Je leur exprime ici toute ma reconnaissance.

Conclusions

Ce nouveau laboratoire, qui a été construit rapidement grâce à la compréhension des pouvoirs publics, apporte par sa conception et son organisation, de nouvelles possibilités de travail. Le rendement éducatif des étudiants qui y travaillent est très considérablement accru.

Il a déja permis de découvrir des vocations de chimistes. Il permettra sans aucun doute de donner dans un même temps d'études une formation pratique plus complète au futur ingénieur.

Et plus particulièrement de faire avec le concours des industriels, du travail de recherche dans des directions intéressant l'économie du pays.

Les Industriels pourront ainsi avoir des ingénieurs chimistes à la mesure de leurs désirs, pour le plus grand bien de leurs affaires et du pays tout entier.

C. D. 621.311.5/91

Elementos sobre a produção e o consumo de energia na rede eléctrica nacional

— Elementos extraídos das estatísticas mensais do Repartidor Nacional de Cargas (R. N. C.) preparadas nos Serviços do R. N. C. a cargo da Companhia Nacional de Electricidade —

NOTA: *As produções e os consumos das empresas do R. N. C. representam cerca de 93 % dos totais do País.*

FEVEREIRO

I — Elementos gerais

a) Mensais (mês de Fevereiro) 10^6 kWh

	1954	1955	Variação %
Produção hidráulica (P_h)	123,0 (2)	139,4 (4)	+ 13
Produção térmica (P_t) . .	3,0 (3)	2,5 (5)	— 17
Produção total (P_T) . . .	126,0	141,9	+ 13
Cons. electroquímico (C_{eq})	22,3	33,8	+ 51
Outros consumos ($C_T - C_{eq}$)	85,1	89,8	+ 6
Consumo total (C_T) (1) . .	107,4	123,6	+ 15

b) Acumulados (de 1 de Janeiro a 28 de Fevereiro) 10^6 kWh

	1954	1955	Variação %
Produção hidráulica (P_h)	255,6 (6)	267,5 (8)	+ 5
Produção térmica (P_t) . .	8,6 (7)	16,8 (9)	+ 95
Produção total (P_T) . . .	264,2	284,3	+ 8
Cons. electroquímico (C_{eq})	48,6	55,1	+ 13
Outros consumos ($C_T - C_{eq}$)	178,9	189,3	+ 6
Consumo total (C_T) (1) . .	227,5	244,4	+ 7

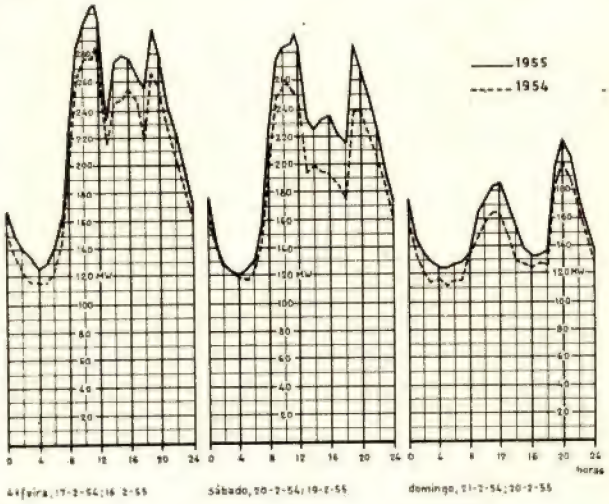
Notas:

(1) No consumo total (C_T) estão incluídas as perdas nas redes de transporte e distribuição.

(2) 98 % P_T. (3) 2 % P_T. (4) 98 % P_T. (5) 2 % P_T.
(6) 97 % P_T. (7) 3 % P_T. (8) 94 % P_T. (9) 6 % P_T.

II — Diagramas de carga da produção

	4.ª feira: 17-2-954	4.ª feira: 16-2-955
Produção hidráulica (P_h) — MWh	4789	5347
Produção térmica (P_t) — MWh . .	39	110
Produção total (P_T) — MWh . . .	4837	5457
Utilização da ponta (U) — horas	17,0	17,2
Factor de carga (α)	0,71	0,72
Relação $\frac{\text{Pot. mín.}}{\text{Pot. máx.}}$ (r)	0,40	0,40



III — Energia armazenada nas principais albufeiras no fim do mês de Fevereiro de 1955

Albufeira	Energia armazenada 10^6 kWh	Energia armazenada % (1)
Venda Nova	131,3 (2)	100,0 (2)
Salamonde	27,3 (2)	97,7 (2)
Caniçada	18,6 (2)	55,4 (2)
Guilhofrei	8,3	100,0
Lagoa Comprida	28,8	97,5
Santa Luzia	33,9	100,0
Cabril.	223,9	88,2
Castelo do Bode	151,0	92,0
Pracana.	10,2	98,6
Póvoa.	11,1	98,0
Total	656,4	91,6

Notas:

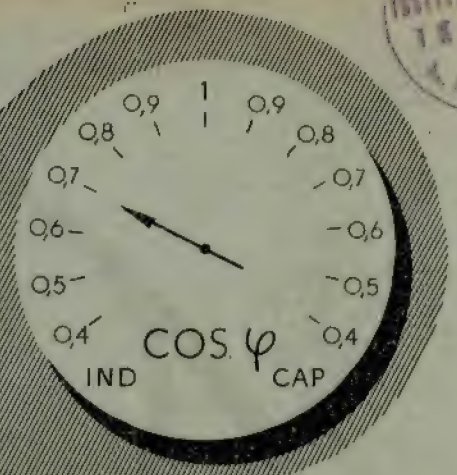
(1) Coeficiente de enchimento em energia das albufeiras.

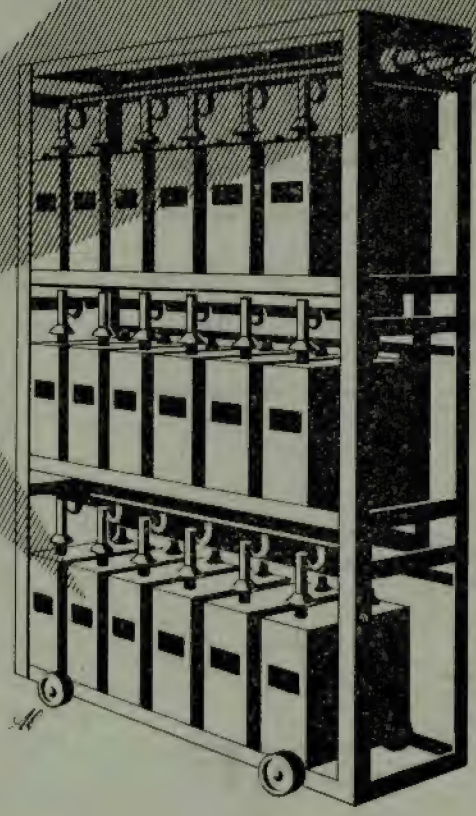
(2) Devido a ter-se passado a considerar a partir do dia 20 o efeito da albufeira de Caniçada nas albufeiras de Venda Nova e Salamonde, estes valores incluem já essa valorização.

BIBLIOTECA DO INSTITUTO INDUSTRIAL TÉCNICO LISBOA

Atenção

AO BAIXO FACTOR DE POTÊNCIA





BATERIA
DE TIPO INTERIOR
360 KVAR, 400 V, 50 HZ

PARA A SUA CORRECÇÃO:

CONDENSADORES

ACECLOR

(ALTA E BAIXA TENSÃO)

- NÃO INFLAMÁVEIS
- ABSOLUTAMENTE ESTANQUES
- DE PEQUENO VOLUME E DE PESO REDUZIDO
- DE GRANDE FACILIDADE DE INSTALAÇÃO
- DE PERDAS DIELÉCTRICAS MÍNIMAS

●

PROTEGIDOS ESPECIALMENTE CONTRA A ACÇÃO CORROSIVA DOS AGENTES ATMOSFÉRICOS

ACEC

ATELIERS DE CONSTRUCTIONS ÉLECTRIQUES DE CHARLEROI

PARA TODOS OS PROBLEMAS DE CORRECÇÃO DO FACTOR DE POTÊNCIA, CONSULTAR OS DISTRIBUIDORES GERAIS:

INDÚSTRIAS ELÉCTRICAS ASSOCIADAS — INEL

SEDE EM LISBOA: RUA RODRIGO DA FONSECA, 76, 4.°
TELEFS. 40174, 47533, 55317, 56582 E 57158 • TELEG.: INELA-LISBOA
DELEGAÇÃO NO PORTO: RUA DE SANTA CATARINA, 470
TELEFONE 28841, 28842 E 28843 • TELEGRAMAS: INELAPO-PORTO

Escavadoras universais MENCK

são fornecidas em vários tipos e tamanhos com colher de meio a cinco metros cúbicos

MENCK

Representantes em Portugal:

Sociedade Michaëlis de Vasconcellos, L.da
PORTO — Praça da Liberdade, 114

Eng.º J. E. Michaëlis de Vasconcellos
LISBOA — R. Fialho de Almeida, 1

SKF

ROLAMENTOS
CHUMACEIRAS

LISBOA PRAÇA DA ALEGRIA 66-A Telef. 33995 – 34223
PORTO AV. DOS ALIADOS 150 — 152 Telef. 29776 – 29777

C. D. 691.327

ESTUDO E CONTROLE DO BETÃO NO ESTALEIRO

PELO ENG.º CIVIL (I.S.T.) A. DE SOUSA COUTINHO
Investigador do Laboratório Nacional
de Engenharia Civil

Introdução

Quando o engenheiro emprega o betão numa dada obra é colocado numa posição singular relativamente à utilização dos outros materiais, pois tem necessidade de o fabricar a partir de certas matérias-primas.

O material que se pretende obter deve possuir uma resistência suficiente à acção das forças que solicitam a estrutura na qual vai ser aplicado. Por vezes interessa também que, além da resistência, possua um certo grau de impermeabilidade à acção dos líquidos actuando ou não sob pressão (caso de estruturas hidráulicas, reservatórios, etc.).

Se, na ocasião da betonagem do elemento de construção, o betão não possui propriedades de consistência e plasticidade tais que lhe permitam não só encher fàcilmente todos os cantos e ângulos da peça, tomando a forma que se deseje com o mínimo de custo de colocação e de acabamento, mas também o envolvimento perfeito das armaduras, sem segregação, mantendo por toda a parte uma homogeneidade perfeita, então as primeiras propriedades enunciadas não serão obtidas.

O problema da fabricação dum betão reduz-se portanto a obter um material que possua uma determinada resistência, e eventualmente uma determinada permeabilidade, com uma boa trabalhabilidade e pelo menor preço de custo. Isto consegue-se a partir das escolhas judiciosas das matérias-primas (brita ou godo, areia, cimento e água) e das suas proporções.

As duas primeiras propriedades, resistência e permeabilidade, são medidas por métodos científicos precisos; infelizmente já se não diz o mesmo da trabalhabilidade, que até hoje não foi ainda possível reduzir a uma quantidade cientìficamente mensurável. Deste facto resulta uma certa dificuldade na enumeração das regras gerais da fabricação dum betão, tornando necessária a experiência e a observação das condições especiais do estaleiro, de modo a escolher-se um tipo de betão cuja trabalhabilidade se adapte a essa obra.

Em geral, a resistência, a impermeabilidade e a trabalhabilidade aumentam com a dosagem de cimento, mas, para a mesma dosagem de cimento, quando a resistência cresce a trabalhabilidade diminui, e inversamente. Como, por razões económicas e técnicas não se pode aumentar a dosagem de cimento além de certos limites estabelecidos pela experiência, a questão da escolha dum bom betão reside num compromisso entre a resistência e a permeabilidade por um lado, e a trabalhabilidade por outro.

Nas páginas que vão seguir-se começaremos por indicar as propriedades que devem possuir as matérias-primas que entram na fabricação do betão; em seguida daremos algumas regras experimentais sobre a sua confecção, referiremos os modos de interpretação e compreensão dos resultados dos ensaios de resistência, e, finalmente, estudaremos sumàriamente a permeabilidade do betão.

CAPÍTULO I

Propriedades dos materiais que constituem o betão

1. Propriedades dos inertes

1.1. Resistência mecânica. — Qualquer rocha que possua uma resistência mecânica igual ou superior à da pasta de cimento pode ser utilizada na fabricação de betões. A resistência de compressão da rocha não deve pois ser inferior a cerca de 400 kg/cm^2. (1) *

1.2. Granulometria da brita ou do godo. **— A brita ou o godo deve ter uma curva granulométrica

* Ver as referências bibliográficas no fim do texto.
** Ver Apêndice I — Definições.

que caia dentro das faixas indicadas na fig. 1. [2] Nesta figura, D representa a máxima dimensão do inerte. **

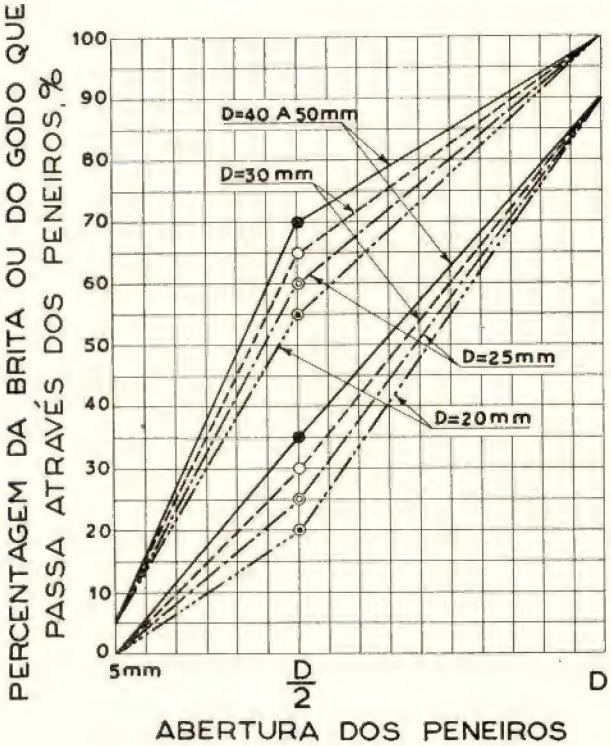


Fig. 1 — Zonas dentro das quais devem cair as curvas granulométricas da brita ou do godo. D é a máxima dimensão do inerte.

A percentagem de vazios do inerte deve ser de 25 % a 50 % do volume total aparente, sendo o inerte tanto melhor quanto menor for o volume de vazios. [5]

1.3. Granulometria da areia. — A curva granulométrica da areia deve cair dentro da faixa indicada na fig. 2. [2], [4], [5], [6]

É particularmente importante a percentagem de elementos de dimensões inferiores a cerca de 0,3 mm. [7] A existência dum excesso destas partículas, e sobretudo de dimensões inferiores a 0,1 mm é prejudicial para a resistência do ligante, mas, por outro lado, beneficia a trabalhabilidade.

As altas resistências nos betões são obtidas com areias siliciosas com 80 a 90 % de partículas compreendidas entre 2,5 mm e 0,5 mm.

No caso de betões pobres é necessário utilizar maiores quantidades de partículas finas para beneficiar não só a trabalhabilidade mas também, por vezes, a compacidade, e portanto a resistência e a impermeabilidade, pois o cimento pode não

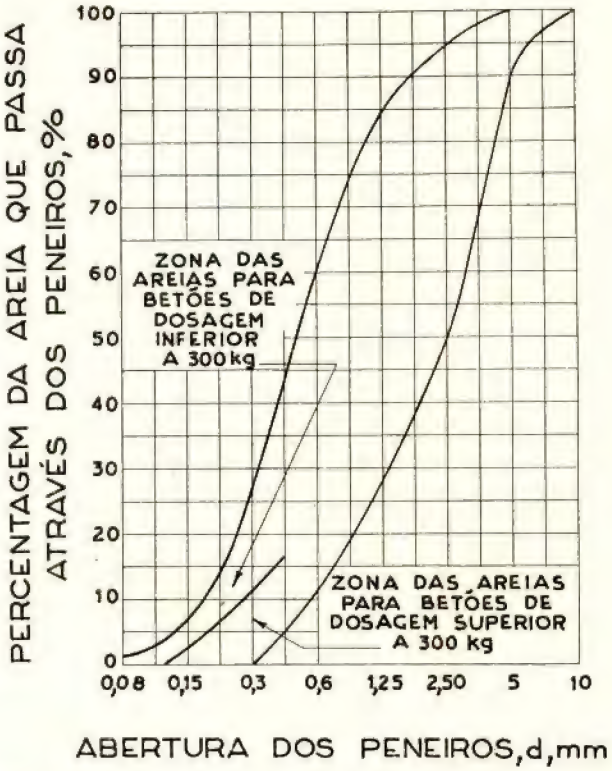


Fig. 2 — Zona dentro da qual deve cair a curva granulométrica da areia.

ser em quantidade suficiente para preencher todos os vazios do inerte. Neste caso é necessário determinar a percentagem óptima de elementos finos e controlá-la rigorosamente durante o fabrico do betão, pois um excesso de partículas finas pode dar origem a graves alterações na qualidade dos betões.

1.4. Baridade da areia. * — As boas areias têm uma percentagem de vazios de 30 a 35 % do volume aparente da areia seca. [3]

É importante a variação da baridade da areia com a sua humidade (fig. 3). [12] Apesar da humidade aumentar, o peso da unidade de volume da areia diminui. A grandeza desta diminuição e a percentagem de humidade para a qual se dá o máximo de variação da baridade dependem da composição granulométrica da areia e do modo de determinação da baridade, isto é, de colocação da areia na medida.

** Ver Apêndice I — Definições.

* Ver Apêndice I — Definições. Para a sua determina-

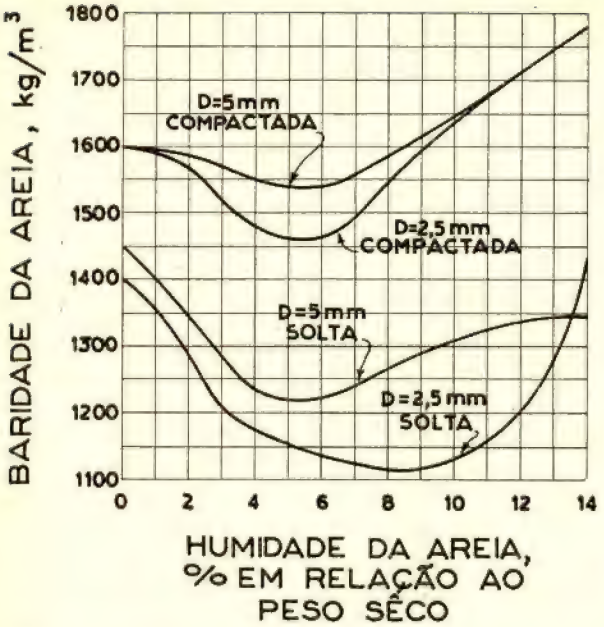


Fig. 3 — Variação da baridade das areias com a sua humidade e com o grau de compactação. Nas baridades indicadas intervém o peso da areia molhada. D é a máxima dimensão da areia.

Quanto mais fina é a areia maior é a variação da baridade com a humidade e com o seu grau de compactação na medida que serve para a determinação da baridade.

1.5. Forma das partículas. — Os elementos que compõem os inertes devem ser de forma cúbica ou esférica, pois os elementos alongados, finos ou em forma de placas não se podem compactar tão bem como os cúbicos ou arredondados, dando origem a tensões de corte no betão de tal modo importantes que lhe diminuem muito a tensão de rotura.

Assim, o coeficiente volumétrico * do godo até 25 mm deve ser pelo menos de 0,15 a 0,20 e o da brita, ou do godo de dimensões superiores a 25 mm, deve ser no mínimo de 0,12 a 0,15. [9]

1.6. Máxima dimensão do inerte. ** — A máxima dimensão do inerte depende do tipo da obra, não devendo exceder, nem $^1/_4$ a $^1/_5$ da menor dimensão da peça a betonar, nem o menor espaçamento das armaduras.

Em geral, não devem ser excedidas as seguintes máximas dimensões do inerte: [2]

Betão armado corrente, em lajes, vigas e colunas	25 a 30 mm
Betão pouco ou não armado, em fundações	50 mm
Betão em grandes massas, barragens, etc.	75 a 200 mm.

1.7. Absorpção de água do inerte. — A absorpção após 24 horas de imersão do inerte seco, em água à temperatura ambiente, não deve exceder os seguintes limites: [9]

Betão pouco ou não armado, de fundações	10 %
Betão de resistência elevada, betão armado	5 %
Betão de pequena permeabilidade, para barragens, reservatórios, tubos, etc. .	3 %

1.8. Impurezas. — São os seguintes os valores máximos de impurezas geralmente toleradas, em percentagem do peso do inerte: [2], [6], [9]

	Brita ou godo	Areia
Argila, lodo, pó de pedra, de dimensões inferiores a 75 a 80 μ, no estado livre e bem distribuídos no inerte	1,5 %	3 %
Carvão, madeira, bocados de argila, mica, conchas ou outras partículas friáveis, susceptíveis de se reduzirem a pó durante a amassadura	2,5 %	1,5 %
Sulfatos e sulfuretos, expressos em SO_3, uniformemente distribuídos em partículas com menos de 0,5 cm³	0,02 %	0,05 %

O inerte não deve conter qualquer película aderente de argila, pó, ou qualquer outro revestimento que o possa isolar do cimento. Se contiver, deve ser rigorosamente lavado.

As impurezas de origem orgânica da areia

ção, ver, por exemplo, a Especificação E 3 -1952, *Inertes*, do Laboratório Nacional de Engenharia Civil, ou a referência bibliográfica (13).

* Ver Apêndice I — Definições. Para a sua determinação, ver referência bibliográfica (9).

** Ver Apêndice I — Definições.

devem ser em percentagem tal que a agitação desta com um soluto a 3 % de soda cáustica dê um líquido de cor mais clara que a dum soluto aquoso, padrão, de soda cáustica, álcool e ácido tânico. *

2. Propriedades da água de amassadura

2.1. Matéria orgânica e substâncias em suspensão.— A água de amassadura não deve conter matéria orgânica nem substâncias em suspensão em proporção superior a 2 gr/l, no caso do betão armado e superior a 5 gr/l em todos os outros casos.

2.2. Mineralização. — A água de amassadura não deve conter sais em solução que produzam alterações na presa e endurecimento do betão, eflorescências e corrosão das armaduras [10], [11] (sais de magnésio e sais alcalinos). A mineralização da água de amassadura não deverá ultrapassar 15 gr/l no caso do betão armado, nem 30 gr/l no caso do betão fracamente ou não armado.

CAPÍTULO II

Principais factores que influem na resistência do betão

3. Influência da dosagem de cimento.— É evidente que mantendo constantes a composição granulométrica do inerte e a consistência do betão, a resistência cresce com a dosagem de cimento.

Na fig. 4 está representado um diagrama que mostra a variação relativa da resistência dum dado betão com a dosagem de cimento. [3], [11], [12] A resistência do betão com uma dosagem de 300 kg foi tomada igual a 100, estando as outras resistências referidas a esta. Como se vê, a partir de dosagens de cimento da ordem de 500 kg/m³, o seu amento é já pouco eficaz.

4. Influência da quantidade de água. — A quantidade de água usada na amassadura dum betão deve ser a menor possível. De facto, a água que não foi utilizada para a hidratação do cimento, ou fica livre no interior do betão, ou sai por evaporação, contribuindo de qualquer modo para diminuir a compacidade e portanto a resistência.

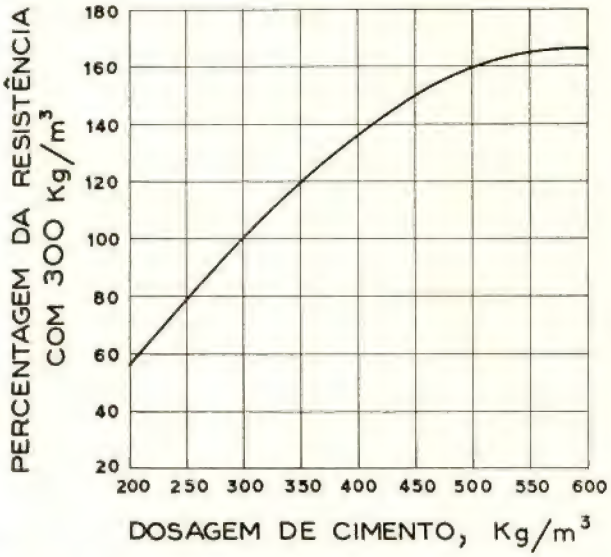


Fig. 4 — Resistência dum betão em função da dosagem de cimento. Betões fabricados com o mesmo cimento, com consistência constante, ensaiados com a mesma idade e nas mesmas condições. Máxima dimensão do inerte da ordem de 40 mm.

No entanto, uma quantidade de água insuficiente conduz a um betão seco, com o qual pode chegar a ser impossível obter uma compacidade

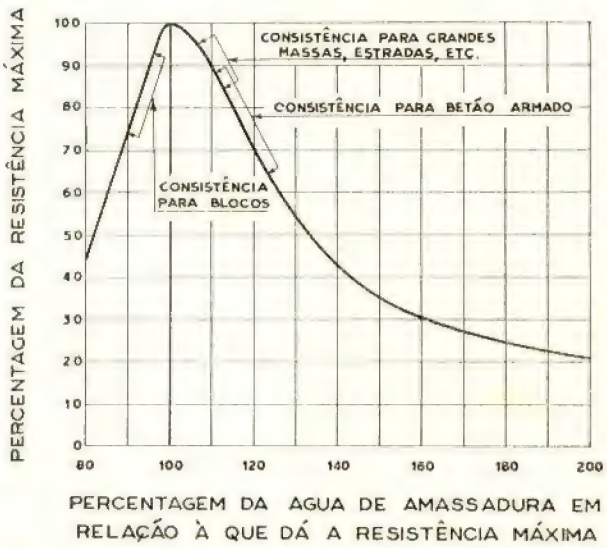


Fig. 5 — Variação relativa da resistência dum betão com a quantidade de água de amassadura.

satisfatória se o atrito entre as partículas fôr tão grande que impeça a sua arrumação perfeita,

* Para a execução deste ensaio ver por exemplo a especificação E 12-1952, do Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

conduzindo também a uma diminuição da resistência. O excesso de água, além de diminuir a resistência aumenta a segregação das partículas que constituem o betão, produz uma contracção elevada, uma grande permeabilidade, etc., mas melhora a trabalhabilidade.

A fig. 5 representa uma curva de variação da resistência dum dado betão duma certa dosagem de cimento com a quantidade de água de amassadura. [11] A resistência máxima que é possível obter com uma quantidade de água óptima foi tomada igual a 100.

Nesta figura indicam-se também as zonas dentro das quais é costume trabalhar nas diversas aplicações do betão.

5. Influência da humidade da areia. — Considerando na fig. 5 o caso do betão armado, em que se utilizam quantidades de água de 10 a 20 % superiores à quantidade de água que dá a máxima resistência, é interessante ver como variam as resistências com os erros de dosagem de água, provenientes da utilização de areias húmidas, e cuja humidade não seja tida em conta.

Como exemplo, a fig. 6 representa a curva de variação da resistência dum betão com a humidade da areia, provocada simplesmente pelo facto da água de amassadura calculada para a areia seca não ser descontada da água contida na areia.

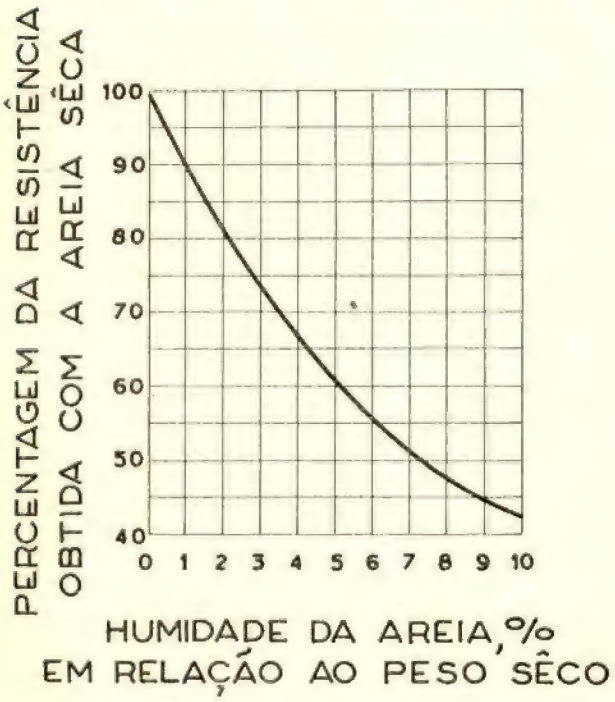


Fig. 6 — Influência da humidade da areia na variação da resistência dum betão ao qual se junta sempre a mesma quantidade de água, sem ter em conta a água introduzida pela areia.

O betão considerado neste exemplo tem uma dosagem de 300 kg de cimento, uma quantidade de areia de 30 % do peso total dos inertes, e uma quantidade de água que excede de 0,15 a que, para um tal betão conduz à máxima resistência, o que dá um $\frac{A}{C} = 0{,}58$ Nesta figura desprezou-se a influência da variação da quantidade de areia sobre a resistência.

No entanto, se se entrar ainda com a variação da dosagem de areia proveniente deste erro, é fácil ver que utilizando por exemplo uma areia com uma máxima dimensão de 2,5 mm e com 10 % de humidade, (fig. 3), doseada em volume sem fazer qualquer correcção da baridade e da humidade, a percentagem total, em peso, de areia do betão passa de 30 % para 20 % o que pode tornar mesmo impossível a colocação do betão por falta de areia.

Daqui se deduz como é importante o conhecimento da humidade da areia, a fim de se descontar a água por ela introduzida, da água junta ao betão na ocasião da sua amassadura, e de se fazer a correcção da quantidade de areia no betão.

6. Influência da cura. Membranas protectoras. — A água de amassadura do betão está sempre em excesso considerável sobre a água necessária para a hidratação do cimento. A perda ràpida desta água por evaporação nas primeiras horas após a betonagem pode impedir a completa hidratação do cimento das camadas superficiais, afectadas por esta evaporação. Por outro lado, como se sabe, a resistência do betão é notàvelmente influenciada pelo meio no qual se faz o endurecimento: se houver água livre que encha os poros do betão, a hidratação do cimento é favorecida, e portanto a resistência.

Por este facto, o betão deve ser protegido da acção directa do sol nos primeiros 3 dias, e deve ser conservado húmido nos primeiros 7 a 14 dias.

Dois processos se podem seguir para impedir uma saída prematura da água: conservar húmida a superfície do betão, ou aplicar à sua superfície certas substâncias (membranas protectoras) sob

a forma de pintura, que têm a propriedade de impedir a evaporação da água de amassadura.

O primeiro processo é realizado por diversos meios bem conhecidos na construção, como regas frequentes, cobertura com areia, terra, serradura, palha, ou com tecidos diversos, como lonas, papéis, etc., mantidos constantemente húmidos.

As cofragens também devem ser regadas frequentes vezes para impedir que o betão seque através delas.

Há no comércio muitos produtos que se aplicam sobre a superfície das peças de betão, e que têm por missão impedir a evaporação da água nas primeiras semanas, produtos estes que podem ser aplicados logo após a betonagem, ou após algumas horas. [30]

A utilização destas membranas é particularmente importante nos casos em que se pretende obter um betão com uma superfície estanque (canais, reservatórios, etc.). De facto, impedindo uma saída de água, impede-se a formação de canalículos à superfície do betão, o que é um excelente meio de diminuir a permeabilidade.

7. Influência da idade. — Na fig. 7 está representada a influência da idade sobre a resistência dum betão conservado em atmosfera húmida,

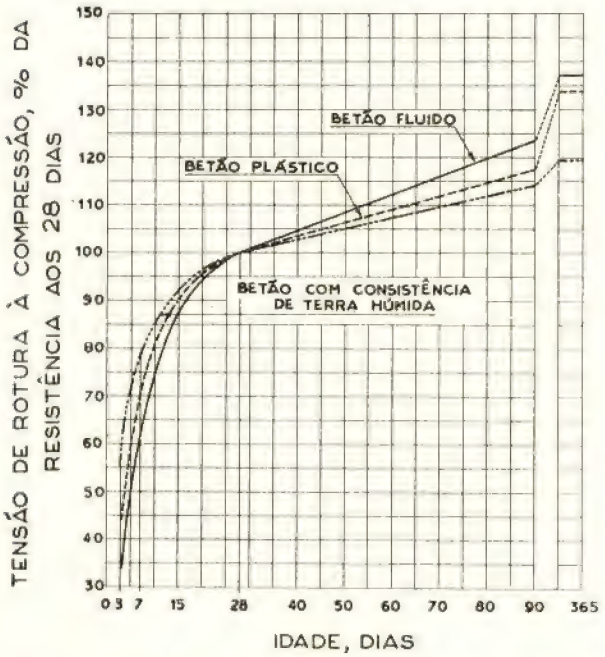


Fig. 7 — Influência da idade na tensão de rotura do betão com várias consistências. A resistência aos 28 dias foi tomada para termo de comparação de todos os betões.

com uma dosagem de 300 kg de cimento por metro cúbico de betão, e com três consistências distintas: de terra húmida, plástica e fluída. [13] Nestes diagramas tomou-se a resistência aos 28 dias como termo de comparação para cada betão.

A forma destas curvas é aproximada pois depende muito da composição e natureza do cimento portland; por isso se podem admitir desvios de 20 ou 30 % em relação aos valores indicados nesta figura.

Apesar do endurecimento do betão amassado com muita água se fazer com velocidade maior do que a do betão seco, deve notar-se que as suas resistências em valor absoluto são sempre inferiores às dos betões executados com uma quantidade adequada de água.

CAPÍTULO III

Determinação da composição do betão

Depois de analizados os factores que influem na resistência do betão, vamos ver como é possível tê-los em conta na sua fabricação de modo que se possa tirar o maior partido dos materiais de que se dispõe no estaleiro.

As operações essenciais a fazer para se obter a composição do betão consistem na determinação da granulometria do inerte e na determinação da dosagem de água. Não há, em geral, necessidade de determinar a dosagem de cimento, pois esta é quase sempre um dado da composição.

Damos em seguida os métodos de estudo da composição do inerte e de determinação da quantidade de água de amassadura.

8. Cálculo da granulometria do inerte. — Como se sabe, a resistência dum betão é tanto maior quanto maior for a sua compacidade.

Actuando sobre a granulometria pretende-se obter uma mistura de inertes tal que o volume de vazios, isto é, de espaços não preenchidos por material sólido, seja o menor possível, o que é equivalente à obtenção dum inerte com o máximo de compacidade.

Deve contudo frizar-se que o volume de vazios do inerte deve ser o estritamente necessário para receber a pasta de cimento. Se se tentar reduzir muito este volume, à custa da introdução de

elementos inertes finos então corre-se o risco de se obter uma diluição da pasta de cimento devido ao aumento da superfície do inerte a ligar, o que conduz necessàriamente a diminuições sensíveis na resistência.

O inerte é considerado bem graduado para o fabrico do betão quando a sua percentagem de vazios for de cerca de 22 % no caso de betões de 200 kg de cimento por metro cúbico, de 25 % no caso de betões de 300 kg e de 28 % no caso de betões de 400 kg.

Ao mesmo tempo pretende-se obter uma mistura que tenha as qualidades requeridas de trabalhabilidade, de modo a poder ser colocada na obra com o mínimo de esforço e o máximo de perfeição.

Não existem regras precisas para a obtenção duma boa granulometria, pois uma determinada composição que deu óptimo resultado num caso não dará necessàriamente o mesmo resultado com outros materiais e noutras condições de obra.

Por isso se indicam a seguir diversos métodos para o cálculo da granulometria do inerte, uns mais simples (método das misturas sucessivas) e outros de aplicação mais delicada (curvas de referência e granulometrias descontínuas).

Deste modo, a multiplicidade dos métodos apresentados permite que cada qual, no estaleiro, possa escolher o método mais adaptável às condições da obra, aos tipos de inerte e de peneiros de que dispõe, etc.

8.1. Método das misturas sucessivas. — Fixada a máxima dimensão D_1 do inerte a usar, sejam D_1, D_2, D_3, ..., 5 mm (areia) as máximas dimensões dos diferentes inertes de que se dispõe, sendo $D_1 > D_2 > D_3 > \ldots > 5$ mm.

Estes inertes, até à areia que se exclui inicialmente, devem ser misturados entre si de acordo com o seguinte critério:

Determina-se a baridade do inerte D_1. Em seguida vai-se juntando a este o inerte D_2, a pouco e pouco e vai-se determinando a baridade da mistura. Esta sobe, e, depois duma certa proporção começa a descer. Assim se determina a proporção entre D_1 e D_2 que conduz ao máximo de compacidade (ver Apêndice II).

Em seguida junta-se a esta mistura de D_1 e D_2 com o máximo de compacidade, o inerte D_3, e vai-se determinando a baridade da mistura para quantidades sucessivamente crescentes de D_3. Determinado o máximo de baridade nota-se a proporção de D_3 para D_2 e D_1.

Assim se pode proceder até se esgotarem todos os materiais, incluindo a areia. No entanto, quando há muitos inertes, e, em particular, quando se faz a utilização deste método com a areia, aparecem certas dificuldades operatórias, pois é difícil fazer uma mistura homogénea, obtendo-se quase sempre uma segregação dos materiais, a qual torna às vezes difícil a apreciação do máximo de baridade.

Quando ficar de fora da medida que serve para a medição da baridade uma certa quantidade de inertes dum dado tipo, deve-se fazer a correcção das quantidades que estão dentro da medida, pesando o que ficou de fora.

A determinação da quantidade de areia pode fazer-se por cálculo, por qualquer dos seguintes métodos:

a) *Determinação da quantidade de areia pelo método do módulo de finura.*

O conceito do módulo de finura é devido a Abrams, [15] e define-se como sendo 1/100 da soma das percentagens totais do inerte que fica retido em cada um dos peneiros duma série em progressão geométrica de razão 2, e começando no peneiro de abertura de 0,149 mm. Esta série é a série standard A. S. T. M. (Apêndice IV), que começa no peneiro n.º 100 (de abertura 0,149 mm).

Para aplicar este método determinam-se os módulos de finura da areia, M_1 e do inerte de dimensões superiores, M_2.

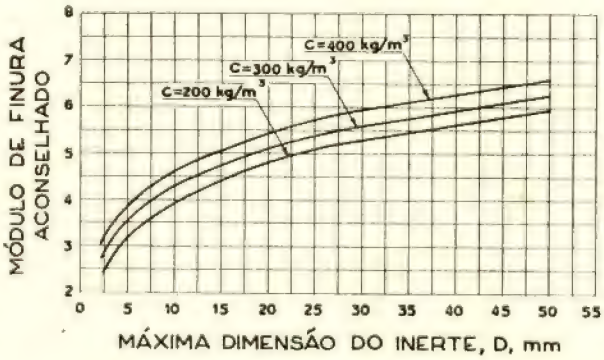


Fig. 8 — Módulos de finura aconselhados por Abrams em função da máxima dimensão do inerte e da dosagem de cimento. Se todo o inerte é britado, reduzir os valores dos módulos de finura de 0,50; se apenas um dos inertes, areia ou brita, é artificial, reduzir apenas de 0,25.

Conhecida a dosagem de cimento que se quere empregar e a máxima dimensão do inerte, a fig. 8 permite determinar o valor que deve ter o módulo de finura da mistura da brita ou do godo com a areia. [3], [15], [17]

Seja M esse valor. Se todo o inerte é britado, devem reduzir-se de 0,50 os módulos de finura dados por este diagrama. Se apenas um dos inertes é britado (areia ou brita) então a redução deverá ser de 0,25.

A proporção entre a areia e a brita ou o godo é *:

$$r = \frac{\text{peso da areia}}{\text{peso da brita ou do godo}} = \frac{M_2 - M}{M - M_1}.$$

Por exemplo, suponhamos que se dispõe de dois inertes artificiais com uma análise granulométrica indicada no quadro junto e com os quais se deseja fabricar um betão de 300 kg de cimento por metro cúbico.

Designação do peneiro A.S.T.M.	Abertura da malha mm	Percentagem retida (areia)	Percentagem retida (D = 38,1 mm)
N.º 100	0,149	100	100
N.º 50	0,297	94	100
N.º 30	0,59	52	100
N.º 16	1,19	29	100
N.º 8	2,38	15	100
N.º 4	4,76	3	95
3/8"	9,52	0	67
3/4"	19,1	0	28
1 1/2"	38,1	0	0
Totais		293	690
Módulos de finura. . .		$M_1 = 2,93$	$M_2 = 6,90$

Pretende-se determinar a proporção em que se deve efectuar a sua mistura. Ora, pela fig. 8 vê-se que, sendo D = 38,1 mm e C = 300 kg/m³, o módulo de finura do inerte deve ser 5,9. Como os inertes são artificiais este módulo de finura deve passar para 5,4. Então a expressão anterior dá,

$$r = \frac{6,90 - 5,40}{5,40 - 2,93} = 0,61.$$

O peso da areia é pois de 0,61 do peso da brita, ou seja, de 38 % da totalidade do inerte (areia mais brita).

* Se os pesos específicos da areia e da brita ou do godo forem diferentes, é necessário substituir os pesos pelos volumes absolutos da areia e da brita ou do godo.

b) *Determinação da quantidade de areia pelo método da Portland Cement Association.* [16]

A Portland Cement Association, dos E. U. A., indica um método, bastante simples, que, no entanto, só deve ser aplicado em obras de pequena responsabilidade, por não conduzir a betões de grande resistência.

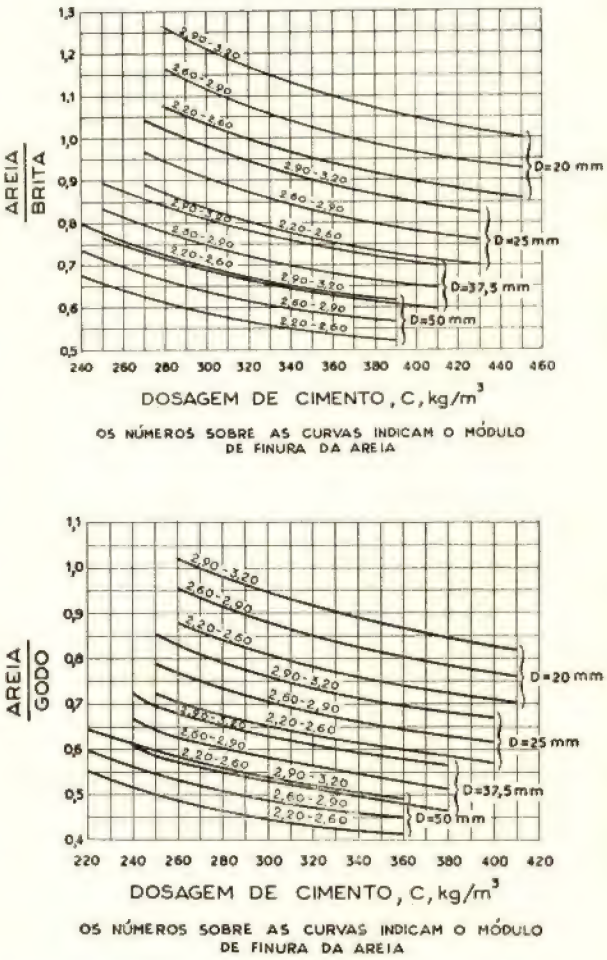
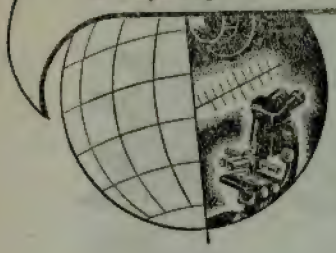


Fig. 9 — Proporção entre a areia e a brita ou o godo, segundo a Portland Cement Association, em função da dosagem de cimento, da máxima dimensão do inerte, D, e do módulo de finura da areia. Se os pesos específicos da areia e da brita ou do godo são iguais, a proporção é em peso; se não são, deve tomar-se a proporção em volume absoluto.

A mistura da areia com a brita ou com o godo faz-se segundo a proporção dada pelos diagramas indicados na fig. 9, conforme o inerte é ou não britado, o módulo de finura da areia, a máxima dimensão do inerte e a dosagem de cimento que se pretende.

A exposição de instrumentos mais completa do mundo



Em nenhum outro sítio presenciará uma exposição especializada em instrumentos e instrumentação das dimensões e da escala da

EXPOSIÇÃO BRITÂNICA DAS INDÚSTRIAS DE INSTRUMENTOS

Todos os campos de instrumentação para Fornecimento de Energia, Indústria, Medicina, Investigação e Educação são abrangidos. Poderá observar todas as qualidades de reguladores da temperatura, pressão e escoamento para efeitos de medição e verificação industriais e eléctricos, equipamento completo para a navegação marítima e aérea, para observações terrestres, instrumentos científicos e equipamento para todo o género de laboratórios, instrumentos electrónicos para todas as aplicações, material de precisão, em campos tão diversos como o meteorológico, fotográfico e material de engenharia.

Os produtos da Indústria de Instrumentos Britânica estarão dispostos para apreciação do público num só piso. Todos os que se interessam pela indústria terão enorme vantagem em visitar esta exposição.

F. W. BRIDGES & SONS LTD., Grand Buildings, Trafalgar Sq., Londres, W.C.2
Telefone: WHITEHALL 0568. *Telegramas:* SEGDIRB, RAND, LONDRES.

Marque os seus lugares desde já —

Nos últimos dias deste certame — abrirá a 10.ª Feira Internacional de Máquinas de Impressão e conexas em Olympia, perto de Londres. Haverá grande procura de alojamentos nos hotéis. Marque os seus desde já. Se desejar qualquer assistência ou o Catálogo Oficial da Exposição das Indústrias Britânicas de Instrumentos, a publicar, queira dirigir-se aos organizadores.

RÉGUAS DE CÁLCULO

FABRICO ALEMÃO

Numa grande variedade de sistemas em modelos de bolso, escritório e de parede.

As réguas de cálculo **ARISTO** são precisas, resistentes, práticas e duma concepção completamente diferente de todas as outras. Escreva a pedir preços e catálogos aos

Representantes exclusivos para Portugal:

EMÍLIO DE AZEVEDO CAMPOS & C.ª, L.DA
CASA FUNDADA EM 1854
Sede: R. de Santo António, 137 — PORTO
Telef. 20254/5
Filial: R. Antero de Quental, 17 — LISBOA
Telef. 53366

ARISTO

CEMENTAÇÃO GASOSA DE ENGRENAGENS,

em Fornos "BIRLEC", numa das maiores Fábricas Britânicas

Operação fácil e eficiente, baixo custo e profundidades de cementação controláveis, são as principais características dos **FORNOS "BIRLEC"** ... e a razão da preferência que lhes é dada pelas grandes Indústrias Metalomecânicas de todo o Mundo.

Fornos especiais para todos os tratamentos térmicos

BIRLEC, LIMITED

BIRMINGHAM — Inglaterra

Agentes:

AHLERS, LINDLEY, L.DA

Rua Ferregial de Baixo, 33-2.º
LISBOA
Telef. 21321/4

Palácio do Atlântico, 408
Praça D. João I
PORTO — Telef. 28384

Estas curvas dão, na maior parte dos casos, os limites superiores da dosagem de areia, pois, como se sabe, nos E. U. A. é geral a tendência para o emprego de betões muito ricos em areia, devido ao largo emprego dos meios mecânicos de transporte do betão.

8.2, Método das curvas de referência.

a) *Curva de Fuller.*

Dentre o grande número de curvas granulométricas existentes, é a curva de Fuller uma das mais importantes, da qual derivam outras, como a de Bolomey, a do Regulamento Suíço de Betão, etc.

É a seguinte, a curva de Fuller:

$$P = 100\sqrt{\frac{d}{D}},$$

onde

P, percentagem do inerte que passa através dum peneiro de abertura d (em peso, se o inerte tem todo o mesmo peso específico, em volume absoluto se o peso específico é diferente).

D, máxima dimensão do inerte.

Normalmente, nas aplicações, não se dispõe de materiais que se adaptam rigorosamente à esta curva; por isso é inevitável o afastamento.

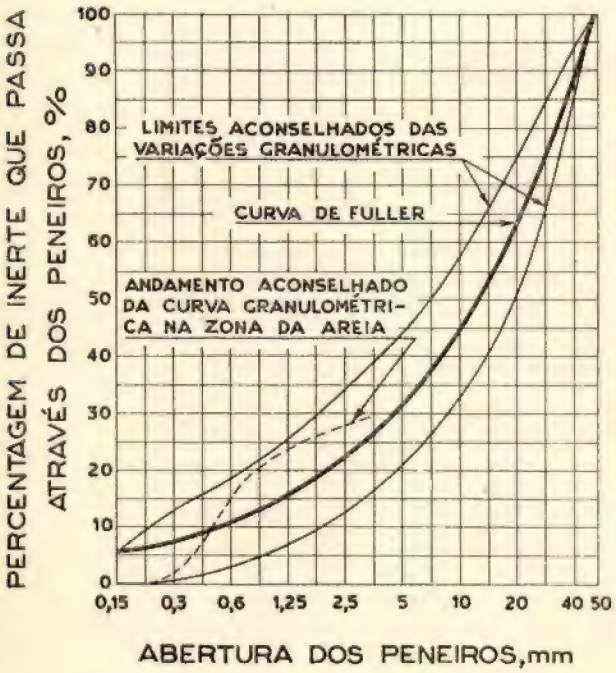


Fig. 10 — Curva de Fuller, e intervalo dos afastamentos permissíveis. Máxima dimensão do inerte, 50 mm.

Como regra geral para a utilização de curvas granulométricas deve ter-se presente que, dada a impossibilidade de se obter uma mistura de inertes cuja granulometria siga rigorosamente a curva de referência, *deve a curva real cortar a curva teórica de tal sorte que a área compreendida entre a curva real da mistura dos inertes e os eixos coordenados seja igual à área limitada pela curva granulométrica teórica.*

Os limites entre os quais se podem dar estes afastamentos, sem comprometer a qualidade da composição granulométrica, são de 10 a 15 % da composição teórica (fig. 10). [5], [7], [12], [18], [19]

Na zona compreendida entre 2 mm e 0,5 mm é sempre conveniente uma aproximação do limite superior, e, abaixo de 0,5 mm, é conveniente a aproximação do limite inferior. Deste modo se obtêm betões com altas resistências e trabalhabilidades aceitáveis.

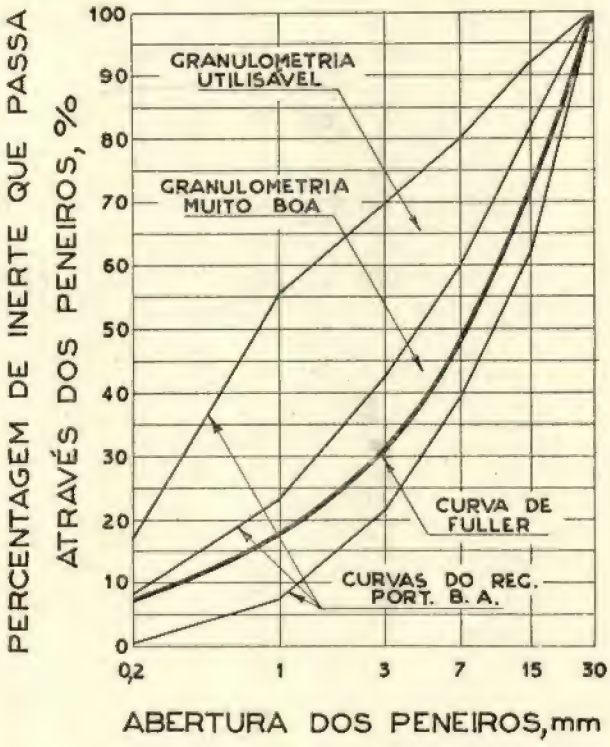


Fig. 11 — Faixas indicadas pelo Regulamento Português de Betão Armado e curva de Fuller. Máxima dimensão do inerte, 30 mm.

Na fig. 11 estão indicados os intervalos de granulometria do inerte prescritos no Regulamento Português de Betão Armado. Como se vê,

à zona da boa granulometria coincide pràticamente com a indicada na fig. 10.

Na fig. 12 está indicada a forma geral da curva de referência de Fuller no caso da série de peneiros de que se dispõe variar segundo uma progressão geométrica de razão 2.

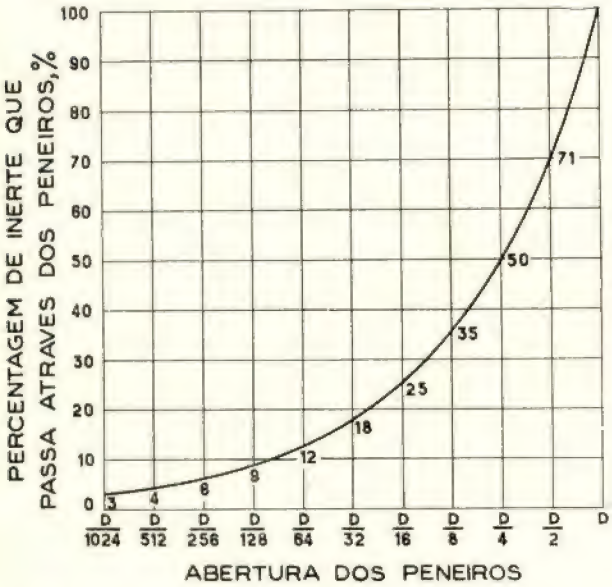


Fig. 12 — Curva granulométrica de Fuller. D é a máxima dimensão do inerte.

No Apêndice III as composições dos betões da região de Lisboa aconselhadas para betão não armado ou fracamente armado, foram calculadas por meio desta curva granulométrica.

b) *Curva de Faury.* [29]

Uma das curvas granulométricas que dá melhores resultados nas aplicações é a de Faury. Esta curva, que tem uma expressão analítica complicada, obtém-se gráficamente dum modo muito simples traçando duas rectas que se cruzam no ponto P dum diagrama de granulometria, no qual as abcissas são proporcionais a $\sqrt[5]{d}$, onde d é a dimensão do inerte (fig. 13). *

As coordenadas das origens destes segmentos são o ponto de abcissa D, máxima dimensão do inerte, e de ordenada 100, e o ponto de abcissa $d_o = 0{,}0065$ mm e ordenada O. Este valor d_o é tomado convencionalmente igual a 0,0065 mm pois se supõe que na granulometria do betão não

* Ver no Apêndice V uma escala gráfica para a determinação expedita de $\sqrt[5]{d}$.

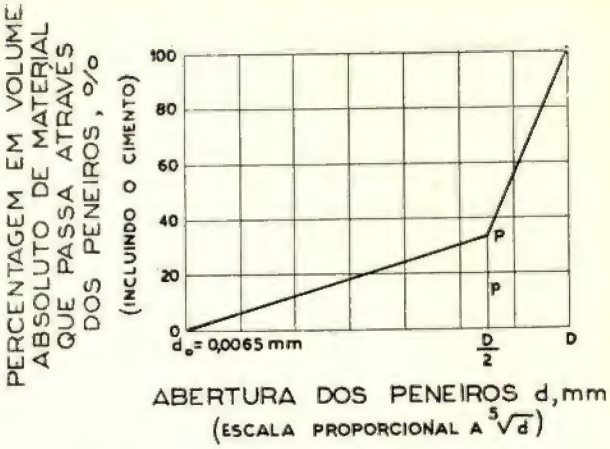


Fig. 13 — Curva granulométrica de Faury.

intervêm partículas de dimensão inferior a esta.

A curva granulométrica assim traçada inclui também o cimento.

A abcissa do ponto P é $\frac{D}{2}$, e a sua ordenada é dada pela expressão

$$p = A + 17\sqrt[5]{D} + \frac{B}{\frac{R}{D} - 0{,}75}$$

sendo

D, a máxima dimensão do inerte, em milímetros

R, o raio médio **, em milímetros, da peça a betonar na sua parte mais armada

B, um coeficiente que depende da potência da compactação do betão. Para as condições usuais de construção de betão armado, B = 1,5. Com uma vibração particularmente potente, B pode descer até 1

A, um coeficiente que depende da natureza dos inertes utilizados, da consistência do betão e do processo de colocação em obra. O seu valor é dado pela seguinte tabela:

Valores de A

Consistência	Compactação	Natureza do inerte		
		Areia rolada e godo	Areia rolada e brita	Areia britada e brita
Muito fluída	Sem nada	32	34	38
Fluída	Fraca	30 a 32	32 a 34	36 a 38
Mole	Média	28 a 30	30 a 32	34 a 36
Seca	Cuidada	26 a 28	28 a 30	32 a 34
Muito seca	Potente	24 a 26	26 a 28	30 a 32
Terra húmida	Muito potente	22 a 24	24 a 26	28 a 30

** Ver Apêndice I — Definições.

A máxima dimensão do inerte, D, deve ser escolhida de tal sorte que seja igual ou inferior a 1,4 R (inerte rolado) ou 1,2 R (inerte britado), onde R é o raio médio da parte mais armada da peça a betonar.

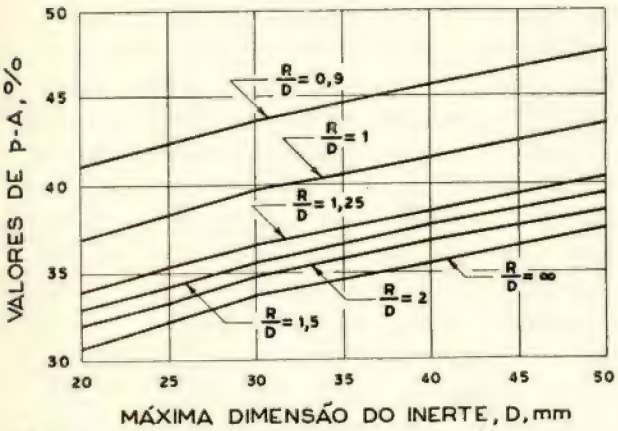


Fig. 14 — Variação de p — A em função de D e de $\frac{R}{D}$, para B = 1,5.

A fim de facilitar a determinação de p, na fig. 14 estão indicados os diagramas de variação de p — A em função de D para vários valores de $\frac{R}{D}$.

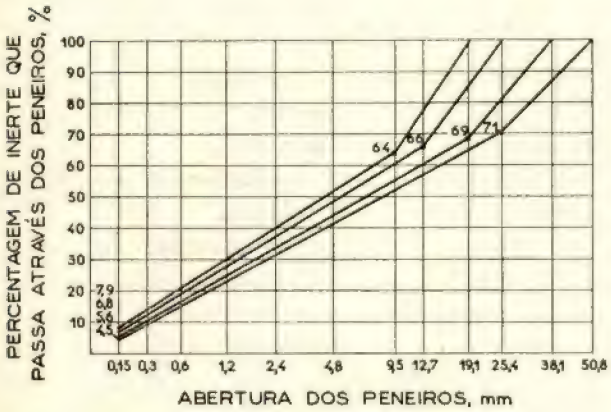


Fig. 15 — Curvas granulométricas de Faury para diversas máximas dimensões do inerte. Estas curvas não incluem o cimento. Foram calculadas para $\frac{R}{D} = 1$, A = 31 e B = 1,5.

Na fig. 15 estão desenhadas as curvas granulométricas correspondentes a betões com máximas dimensões de inerte desde 50 mm até 19 mm, segundo a série de peneiros da A. S. T. M., no caso de $\frac{R}{D} = 1$, A = 31 e B = 1,5, e descontado o cimento. As composições granulométricas dos betões da zona de Lisboa indicadas no Apêndice III para betão armado foram calculadas com base nestas curvas.

O ajustamento do inerte às curvas granulométricas faz-se utilizando o método dos índices ponderais, [29] de aplicação um pouco longa e fastidiosa e cuja descrição sai já fora do âmbito desta publicação, ou simplesmente por tentativas.

A curva granulométrica de Faury permite ter em conta o efeito de parede a que está submetido o betão, o que não é possível fazer com as outras curvas, conduzindo a betões de excelente qualidade.

Sobre os afastamentos permissíveis desta curva é aplicável o que foi dito na alínea anterior a).

8.3. Granulometrias descontínuas.

a) *Definições e condições de descontinuidade.*

Os betões de granulometria descontínua diferem dos que temos vindo a tratar pela ausência de partículas de determinadas dimensões.

Em princípio, uma granulometria idealmente descontínua deve ser constituída do seguinte modo:

Dispõe-se do inerte de máxima dimensão D_1, uniforme, isto é, composto apenas de elementos com esta dimensão; a este inerte chama-se *elemento primário*. A dimensão do *inerte secundário*, D_2, deve ser escolhida de tal modo que os seus elementos se ajustem dentro dos vazios deixados pelo inerte D_1, sem que a distância entre os elementos primários seja aumentada. Pràticamente isto consegue-se determinando experimentalmente a máxima dimensão do inerte secundário D_2 e a máxima percentagem em que é possível juntar D_2 a um dado volume de D_1, sem que o volume aparente de D_1 aumente.

O inerte terciário deve ter uma dimensão tal que se ajuste dentro dos vazios deixados pela mistura dos dois inertes iniciais de maneira que a distância entre os elementos componentes destes inertes não varie; e assim se deverá proceder até ao cimento.

Claro que esta condição ideal é pràticamente impossível de satisfazer e a experiência tem per-

mitido fixar condições com uma certa latitude, satisfazendo sensìvelmente ao que foi dito. [20]

Assim, designando por D_1 a máxima dimensão do inerte primário e por d_1 a sua mínima dimensão, deve ser

$$\frac{D_1}{d_1} < 1{,}5.$$

Para o secundário deve ser

$$\frac{D_2}{d_2} < 1{,}5 \text{ a } 2.$$

Para o terciário e seguintes

$$\frac{D_3}{d_3} < 2.$$

Entre os inertes primário e secundário deve existir a seguinte relação de dimensões

$$\frac{d_1}{D_2} = 4 \text{ a } 5.$$

Entre o secundário e o terciário e entre os materiais seguintes, deve existir a relação,

$$\frac{d_2}{D_3} = 3 \text{ a } 4.$$

Na tabela seguinte estão indicadas as dimensões máximas e mínimas, em milímetros, dos diversos inertes que devem compor um betão de granulometria descontínua, segundo Vallette. [20]

Betão	Inerte primário		Inerte secundário		Inerte terciário		Inerte quaternário	
	D_1 mm	d_1 mm	D_2 mm	d_2 mm	D_3 mm	d_3 mm	D_4 mm	d_4 mm
Em grandes massas . . .	200	120	25	16	5	2,5	0,8	0,4
Pouco armado	63	40	10	6,3	1 6	0,8	0,3	0,16
Armado . . .	25	16	3,15	1,6	0,4	0,2	—	—
Argamassa . .	10	6,3	1,6	0,8	—	—	—	—
Argamassa de revestimento	3,15	1,6	0,4	0,2	—	—	—	—

b) *Determinação das proporções entre os inertes e propriedades dos betões descontínuos.*

A determinação das proporções entre os inertes faz-se còmodamente pelo método das misturas sucessivas (§ 8. 1) ou por este método combinado com o do módulo de finura de Abrams (§ 8. 1. a).

Outro processo, de aplicação pouco cómoda, é devido a Vallette; [20] este processo tem a desvantagem de exigir um operador com uma certa experiência para avaliar o fim das diversas operações de que se compõe o método. Na referência bibliográfica 20 encontra-se uma descrição pormenorizada deste método.

Dum modo geral, os betões descontínuos são menos trabalháveis e correm mais fàcilmente o risco de segregarem que os betões contínuos; no entanto, é com os betões descontínuos, que, se *são correctamente doseados* com *relações de descontinuidade bem escolhidas*, o que é essencial, e enèrgicamente vibrados, se conseguem obter as mais altas resistências, pois conduzem a compacidades elevadas. Todavia, por vezes, ligeiras variações nas dimensões dos inertes podem dar origem a quedas importantes na resistência.

Os betões descontínuos são muito empregados em estradas, onde a facilidade da sua colocação em obra é grande, pela sua disposição em camada uniforme, sem ou com poucas armaduras, nem ângulos reentrantes a preencher.

A utilização desta granulometria é também interessante quando se pode empregar inerte de máxima dimensão da ordem de 100 a 200 mm (betão em grandes massas).

9. Cálculo da dosagem da água de amassadura.

9.1. Método da água de molhagem. — A quantidade de água de amassadura dum betão pode ser decomposta em duas partes:

a) Quantidade de água necessária para levar o cimento a uma pasta plástica.

b) Quantidade de água de molhagem do inerte.

A quantidade de água exigida pelo cimento para se obter uma pasta de consistência plástica varia com as qualidades do cimento, sua finura, etc. Normalmente esta quantidade pode fixar-se entre 22 e 32 % do peso do cimento, quando este é portland normal [11]. No caso dos cimentos nacionais, o valor de 26 % fornece bons resultados.

A quantidade de água de molhagem do inerte depende da natureza da sua superfície (inerte britado ou rolado) e da sua composição granulométrica, em particular da areia; quanto maior é a finura da areia maior é a quantidade de água necessária para a sua molhagem.

Na fig. 16 está indicada a quantidade de água de molhagem em percentagem do peso de inerte, rolado ou britado, retido no peneiro de abertura marcada em abcissas, e passando através do peneiro de abertura dupla deste. [21], [22]

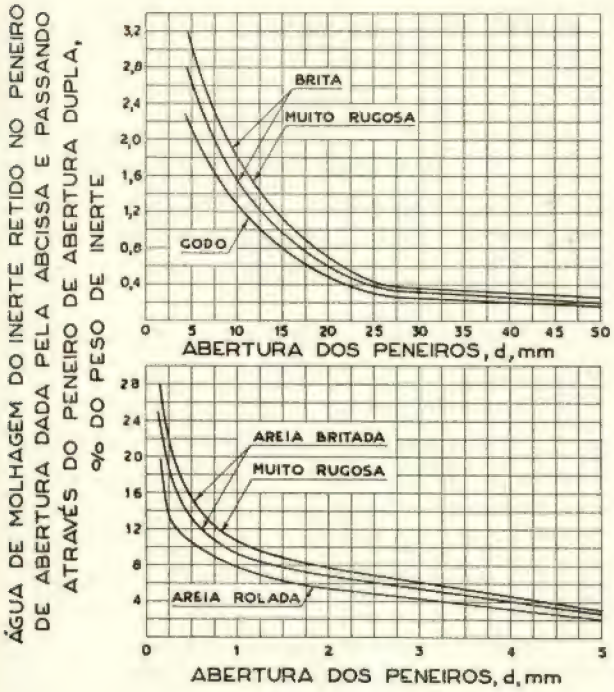


Fig. 16 — Água de molhagem do inerte, em percentagem do seu peso.

Na elaboração destas curvas supôs-se que o peso específico do inerte era de 2650 kg/m³. Se este for diferente, δ, então é necessário multiplicar as ordenadas pela relação $\frac{2650}{\delta}$.

No caso de inertes britados é mais difícil avaliar a água de molhagem e por isso se dá uma faixa dentro da qual pode esta estar compreendida, conforme a rugosidade da superfície do inerte.

Existem outras curvas de água de molhagem em função das dimensões do inerte, como por exemplo as de Bolomey. No entanto, preferimos estas pela sua maior simplicidade. Conhecida a curva granulométrica dos inertes e a dosagem de cimento, estas curvas permitem determinar a quantidade de água conveniente para um dado betão (ver Apêndice II).

9.2. Método da percentagem de água em relação ao peso total do inerte. — Também podemos referir, como conhecimento útil para os cálculos iniciais da composição do betão, que o volume da água de amassadura referido à totalidade do inerte é, [23]

no caso de betões secos, 5 a 6 % do peso do inerte
no caso de betões plásticos, 7 a 8 % do peso do inerte
no caso de betões fluídos 8 a 10 % do peso do inerte.

10. Cálculo da quantidade de inerte para 1 m³ de betão. — Uma vez determinada a composição do inerte que entra na fabricação do betão e conhecida a dosagem de cimento, torna-se necessário calcular a quantidade de inerte para obter 1 m³ de betão.

Como se sabe os constituintes do betão estão ligados entre si pela relação:

$$1 \text{ m}^3 \text{ de betão} = \frac{C}{\delta_c} + \frac{I}{\delta_I} + A + V_v ,$$

sendo

- C, dosagem de cimento, em kg por m³ de betão
- I, peso do inerte seco, em kg por m³ de betão
- A, volume da água de amassadura, em m³ por m³ de betão
- V_v, volume de vazios, em m³ por m³ de betão (em média 0,010 a 0,030 m³ por m³ de betão)
- δ_c, peso específico do cimento, (em média 3100 kg/m³)
- δ_I, peso específico do inerte (em média 2650 kg/m³).

Se a granulometria do betão for constituida por diversos tipos de inerte, cada um dos quais com um peso específico diferente, é evidente que o termo $\frac{I}{\delta_I}$ será constituído pela soma dos volumes parciais de cada um dos tipos de inerte que entra na granulometria; como se conhecem as proporções relativas entre esses tipos de inerte, é possível reduzir a soma a uma única fracção do tipo $\frac{I}{\delta_I}$.

Conhecida a dosagem de cimento C e arbitrado para V_v um valor que a prática permite fixar em cerca de 0,010 a 0,020 m³, a expressão anterior permite calcular o peso I de inerte que entra em 1 m³ de betão, desde que seja conhecida a dosagem de água A. Para isso, conhecida a composição granulométrica do inerte, calcula-se a sua água de molhagem com auxílio da fig. 16. So-

ma-se a esta parcela, que é uma função de I, 0,26 do peso de cimento (água de molhagem do cimento), e obtém-se a quantidade total de água expressa em função do peso de inerte, I.

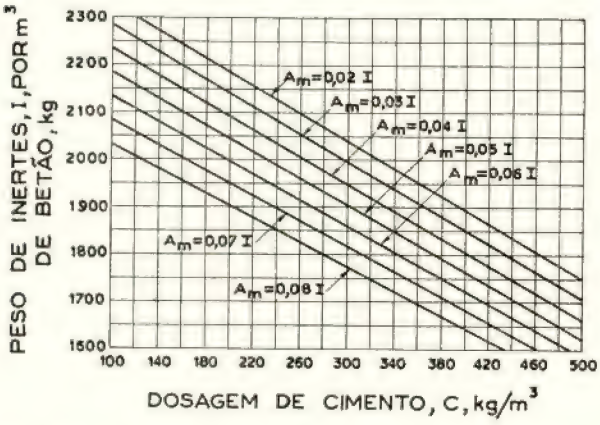


Fig. 17 — Diagramas para o cálculo do peso de inerte I, para 1 m³ de betão a partir dos valores da água de molhagem do inerte, A_m. Peso específico do inerte, 2650 kg/m³. Peso específico do cimento, 3100 kg/m³. Volume de vazios do betão, 15 l m³. Água de molhagem do cimento, 0,26 do seu peso.

Para facilitar a solução desta equação pode recorrer-se à fig. 17. Assim, conhecida a água de molhagem do inerte, A_m, e a dosagem de cimento, a figura dá imediatamente o valor de I.

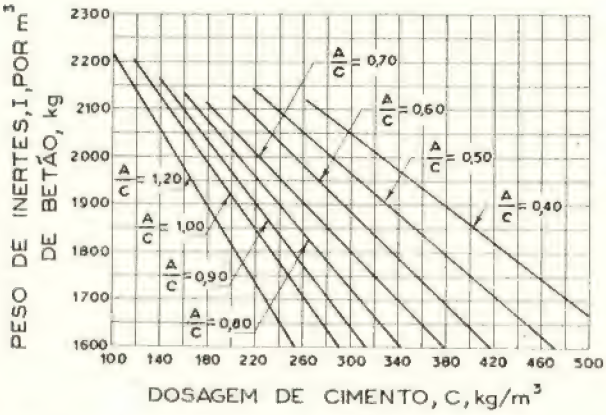


Fig. 18 — Diagramas para o cálculo do peso do inerte I, para 1 m³ de betão, a partir dos valores de $\frac{A}{C}$. Peso específico do inerte, 2650 kg/m³. Peso específico do cimento, 3100 kg/m³. Volume de vazios do betão, 15 l/m³.

Se for conhecido o valor de $\frac{A}{C}$, então da fig. 18 tira-se o valor de I.

No Apêndice II é dado um exemplo da marcha geral deste cálculo.

CAPÍTULO IV

Fabricação do betão

11. Técnica da amassadura

11.1. Betoneiras. Sua eficiência. — Uma das operações mais importantes do fabrico do betão é a sua amassadura.

A amassadura do betão pode ser manual ou mecânica. A amassadura manual só é admissível para pequenas quantidades de betão, e não nos deteremos sobre ela. Quando a amassadura é mecânica, é feita em aparelhos designados correntemente por betoneiras.

Os critérios de avaliação da eficiência duma betoneira são: [13], [27]

a) Homogeneidade do betão fabricado, em especial da dosagem de cimento por unidade de volume do betão.

b) Resistência de compressão do betão obtido.

c) Percentagem de materiais que ficam aderentes às diferentes peças do tambor após a descarga.

d) Velocidade de descarga da betoneira.

No que vai seguir-se apenas atenderemos ao primeiro dos critérios enunciados, pois é o mais importante.

A avaliação da eficiência duma betoneira a partir da resistência de pequenos espécimes fabricados com uma ou mais amassaduras e do valor das dispersões desta resistência, interessa mais ao estudo duma betoneira destinada ao laboratório do que ao estudo duma betoneira destinada a uma dada construção, porque a resistência média do betão duma grande peça, elemento duma construção, não é a média das resistências dos pequenos espécimes que dela se podem extrair.

Por esta razão é preferível tomar como critério da eficiência duma betoneira o da homogeneidade do betão, avaliada, por exemplo, a partir da distribuição do cimento por unidade de volume do betão.

11.2. Volume da amassadura. — O volume do betão amassado deve ser de cerca de 1/3 a 1/4 do volume total do tambor; se a quantidade de betão é inferior a esta haverá uma separação entre as partículas mais grossas e a argamassa; no caso contrário a amassadura também é imper-

feita, pois o deslocamento relativo dos materiais de diversas dimensões não se faz em boas condições, conduzindo a betões que não são homogéneos.

11.3. Ordem de introdução dos materiais. — Dum modo geral a experiência tem demonstrado que a ordem óptima de introdução dos elementos na betoneira é a dos mais finos aos mais grossos, isto é, *água em primeiro lugar, depois cimento, em seguida areia e finalmente a brita ou o godo.*

11.4. Tempo de amassadura. — A experiência tem também demonstrado que o tempo de amassadura não tem interesse; o que é importante fixar é o *número de rotações do tambor.* A velocidade do tambor também tem uma acção desprezível, desde que se mantenha abaixo da velocidade crítica na qual uma parte dos materiais seja centrifugada.

11.5. Amassadura em betoneiras de eixo vertical. — A ordem de introdução dos materiais nas betoneiras de eixo vertical tem pequena influência, mas convém, evidentemente, que o inerte de maiores dimensões seja introduzido em último lugar.

A duração da amassadura não deve ser inferior a 8 rotações, contadas a partir do fim da carga, não havendo inconveniente em a prolongar.

O volume de betão introduzido nesta betoneira deve ser tal que durante a amassadura a camada de betão tenha uma espessura maior do que a altura das pás, de modo a produzir-se uma agitação na direcção vertical.

A altura do tambor não deve ser maior que 1/3 do seu diâmetro.

São as betoneiras que dão maior homogeneidade ao betão, mas são pouco utilizadas por conduzirem a um material pesado, de grandes dimensões para a capacidade de fabrico, e portanto pouco económico.

11.6. Amassadura em betoneiras de eixo horizontal. — Os elementos que compõem o betão devem ser uniformemente distribuídos ao longo do eixo, e podem portanto ser carregados todos ao mesmo tempo, durante o movimento da betoneira. No entanto, convém que as partículas finas, sobretudo o cimento, não encontrem as paredes húmidas da betoneira, o que levaria à formação de grumos; então, deve-se introduzir uma parte da água antes dos materiais secos, o que tem a vantagem de lavar as paredes do tambor e de reduzir a viscosidade da mistura no princípio da amassadura.

O tempo de amassadura não deve ser inferior a 30 rotações do tambor contadas a partir do fim da carga.

11.7. Amassadura em betoneiras de eixo inclinado ou basculante. [28] — São as betoneiras mais correntemente empregadas nos estaleiros.

O ângulo de inclinação do eixo sobre a vertical não deve ultrapassar 30°, e a forma, altura e inclinação das pás têm uma importância relativamente restrita.

A ordem óptima de carga é: água, cimento, areia (ou areia e cimento misturados) e finalmente brita ou godo. A mistura perfeita é obtida tanto mais ràpidamente quanto mais fluído é o betão. A homogeneidade é óptima ao fim de 40 rotações para os betões pobres e de 20 rotações para os betões ricos. Em média pode admitir-se 30 rotações como duração óptima da amassadura.

Se a *duração da amassadura é prolongada, há segregação,* de modo que as partículas grossas têm tendência a acumular-se à superfície da amassadura. Este perigo de segregação proveniente do prolongamento da amassadura é particularmente perigoso para betões secos e com pouca areia.

12. Medição da trabalhabilidade. — Dum modo geral, pode dizer-se que um betão é trabalhável quando possui propriedades tais que pode ser transportado e colocado na obra convenientemente, sem perigo de segregação e com uma certa facilidade.

Todavia a trabalhabilidade do betão é uma propriedade que não é fàcilmente mensurável, pois que ela é muito complexa e bastante mal definida.

No entanto, R. L'Hermite [24] tem tentado, nos últimos anos, definir a trabalhabilidade do betão a partir do conhecimento do coeficiente de atrito interno, da coesão e do coeficiente de viscosidade. A aparelhagem e as técnicas para a determinação destas grandezas físicas são contudo ainda de utilização muito complexa, mesmo no laboratório.

Os conhecidos métodos do cone de Abrams e da mesa de plasticidade servem para detectar

apenas a variação da quantidade de água do betão fresco (§ 13), isto é, dão ideia apenas da variação duma quantidade de água dum dado betão, mas não medem nem servem para comparar a trabalhabilidade de betões de diferentes composições granulométricas. Além disto, estes métodos só dão bons resultados quando os betões são ricos de areia, muito plásticos e pouco segregáveis.

O método de Faury determina apenas a aptidão do betão para sofrer um determinado efeito de parede, provocado, por exemplo, pela existência de malhas de armaduras. [29]

A segregabilidade do betão, tendência para um betão se tornar heterogéneo pela separação de certas categorias dos seus componentes, também é susceptível de medição, embora por um método que não é cómodo aplicar no estaleiro. [24]

Um meio muito corrente de avaliar a trabalhabilidade dum betão, no caso da maior parte das nossas obras de construção civil, onde o betão é transportado em pequenas porções para os moldes, por meios manuais, consiste em medir o tempo de vibração, ou de apiloamento, (conforme o betão na obra é vibrado ou apiloado) que é necessário impor a um certo espécime de ensaio (por exemplo, um cubo) para que a argamassa aflore à superfície, tornando-a plana, sem afloramentos de pedra, e perfeitamente acabada com uma camada de elementos finos que lhe dê uma superfície rigorosamente plana.

O betão é considerado trabalhável quando este tempo de vibração estiver compreendido entre uns 5 e 10 segundos, no caso de cubos de 20 cm de aresta.

13. Controle da quantidade de água de amassadura. — Vimos no § 5 que a humidade dos inertes deve ser tida em consideração ao determinar a água de amassadura. Ora muitas vezes não é cómodo o controle da água de amassadura a partir da determinação da humidade dos inertes, como acontece, por exemplo, se houver grandes variações nesta humidade com o decorrer das sucessivas betonagens.

Então é indispensável recorrer a qualquer dos conhecidos métodos do cone de Abrams, mesa de espalhamento ou mesa de plasticidade.

O método mais correntemente usado nos estaleiros é o do cone de Abrams que dá excelente resultado nesse controle. [24]

Assim, tendo préviamente determinado o abaixamento do cone para a dosagem de água com que se deseja trabalhar, bastará, na hipótese de se usarem materiais húmidos, ir juntando água à amassadura a pouco e pouco, até se obter o abaixamento desejado.

14. Influência de adições destinadas a melhorar a trabalhabilidade. — Existem actualmente no comércio certos produtos que tendem a melhorar as características de trabalhabilidade do betão sem afectarem ou mesmo aumentarem as tensões de rotura melhorando todas as propriedades técnicas do betão: aumentam a impermeabilidade, a aderência às armaduras e nas juntas de betonagem, não alteram pràticamente a contracção, etc. [30] Podem classificar-se esses produtos em duas categorias:

a) Produtos que tendem a favorecer uma dispersão do cimento no seio do betão, evitando a sua aglomeração em núcleos, sempre presentes no betão normal *(plastificantes)*.

b) Produtos que introduzem ar no betão, tendendo a substituir a parte fina da areia por uma finíssima dispersão de ar no seio do betão *(agentes introdutores de ar)*.

Os plastificantes são constituídos por substâncias que são adsorvidas pela superfície dos grãos de cimento, [30] os quais passam a repelir-se mùtuamente enquanto não predominam os fenómenos de presa que tendem a atrair as partículas de cimento entre si fazendo-as flocular. Deste simples facto resultam maiores resistências para o betão.

Mas esta melhor dispersão do cimento dá origem a um aumento de trabalhabilidade provocado pela maior mobilidade da fase líquida, o que permite reduzir a quantidade de água de amassadura, donde resulta ainda um novo aumento de resistência.

Assim se conseguem diminuições na dosagem de água da ordem de 30 % e aumentos na resistência que podem chegar a atingir 50 %. [26], [30]

Com a utilização dos agentes introdutores de ar faz-se a substituição de parte da areia por pequenas gotas de ar, com diâmetros compreendidos entre 50 μ e 250 μ, que, tendo a função das partículas finas do betão melhoram bastante a sua trabalhabilidade, permitindo suprimir parte da areia, e consequentemente diminuir a dosagem de água.

A introdução de ar no betão não apresenta normalmente, sob o ponto de vista da resistência, vantagens especiais, pois provoca um aumento do volume de vazios que arrasta uma diminuição da resistência. Para se compensar esta diminuição da resistência é necessário retirar água e areia ao betão, o que é possível fazer em virtude do aumento de trabalhabilidade. [26] Assim, no caso normal da introdução de 30 a 40 l de vazios por m^3 de betão, pode retirar-se 10 a 20 % da água de amassadura, o que restabelece sensìvelmente a resistência inicial.

A introdução de ar no betão só é particularmente conveniente quando este está sujeito à acção de intempéries violentas, em que a temperatura desce abaixo de O°C, sendo então a durabilidade do betão consideràvelmente aumentada.

A proporção em que os produtos introdutores de ar no betão devem ser utilizados depende imenso da qualidade e natureza do cimento, das características do inerte (forma, natureza petrográfica e sobretudo granulometria) da temperatura, da proporção de água, do tempo de amassadura, do modo de colocação em obra do betão, do tempo de vibração, etc.

É pois indispensável proceder a um estudo prévio da influência da proporção destes produtos sobre a quantidade de ar introduzido, sobre a resistência e sobre a trabalhabilidade, pois as quantidades indicadas pelos fabricantes estão muitas vezes longe das quantidades óptimas para um dado betão.

CAPÍTULO V

Estudo e controle do betão calculado

15. Estudo do betão no laboratório do estaleiro

15.1. Correcção do betão. — Feito o cálculo da granulometria do inerte por qualquer dos métodos apresentados no Capítulo III e dada a dosagem de cimento, é sempre conveniente proceder a um ensaio prévio de amassadura do betão, pois as regras que demos não são senão aproximadas, e têm essencialmente por fim originar um ponto de partida.

Feito o ensaio da primeira amassadura, pela simples inspecção do betão e pela medição da trabalhabilidade pelo critério da vibração, por exemplo (§ 12) é fácil reconhecer qual o sentido em que se deverá fazer a modificação: falta ou excesso de areia ou de água, ou falta de elementos intermédios se o betão apresentar uma tendência para segregar, isto é, separar os elementos grossos dos finos.

Deverá então fazer-se uma amassadura com as correcções necessárias, até se acertar com a melhor trabalhabilidade do betão.

15.2. Variação da resistência com a percentagem de areia. — No caso de obras de certa importância, é sempre útil estudar a variação da resistência do betão com a proporção de areia, variando-a até $\pm$ 10 a $\pm$ 15 % do peso total do inerte em torno da quantidade escolhida.

Este modo de proceder tem a vantagem de não só poder, eventualmente, conduzir à determinação da melhor proporção de areia que produz o máximo de resistência compatível com a trabalhabilidade, mas também de permitir ajuizar da sensibilidade do betão ao efeito de parede. De facto, muitas vezes, nas partes mais armadas duma obra há necessidade de um excesso de argamassa para garantir um bom, perfeito e homogéneo envolvimento das armaduras, o que torna necessário aumentar a dosagem de areia no betão, convindo portanto saber, com precisão, qual a alteração no valor da resistência que esta sobredosagem acarreta.

15.3. Variação da resistência com a quantidade de água. — É também aconselhável traçar uma curva da variação da resistência do betão escolhido com a quantidade de água de amassadura, dando uns três ou quatro acréscimos de $\pm$ 0,02 a $\pm$ 0,05 ao valor de $\frac{A}{C}$ escolhido. Deste modo se tem bem em conta a influência da quantidade de água e poder-se-á explicar, dadas as condições do trabalho no estaleiro, algumas variações nas resistências que eventualmente se verifiquem no betão da construção, imputáveis aos erros de dosagem de água.

15.4. Número de ensaios e sua precisão. — As curvas de variação da resistência com estes parâmetros, dosagens de areia e de água, devem ser obtidas pelo menos com quatro pontos, para se poder ter uma definição satisfatória da sua forma.

No que se refere ao número de espécimes que

é necessário ensaiar para determinar cada um dos pontos das curvas referidas com a necessária precisão, não é possível indicar-se um mínimo, pois este número depende muito das condições do laboratório do estaleiro, das precisões com que são medidos os materiais, com que é amassado o betão e com que são executados e conservados os espécimes.

Podemos no entanto afirmar que o desvio quadrático médio relativo* duma tensão de rotura dum cubo de 20 cm de aresta fabricado em laboratório anda por 0,05 a 0,10. [31], [32], [35]

Seja ρ o valor deste desvio quadrático médio, obtido num determinado laboratório, com uma certa técnica de fabrico, de conservação e de ensaio. Se, nestas mesmas condições se ensaiarem n espécimes iguais, obteremos o valor

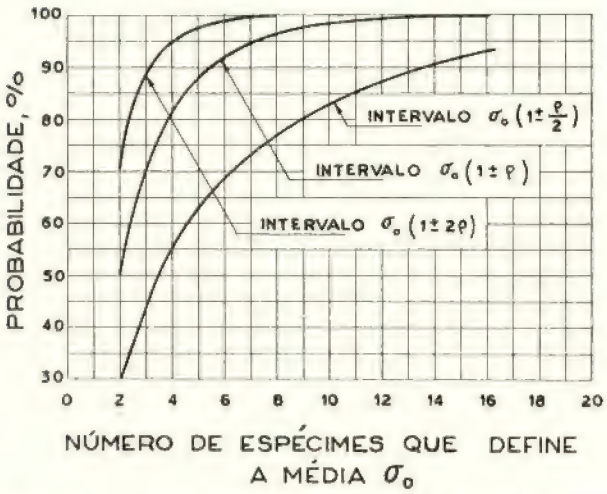


Fig. 19 — Curvas da variação da probabilidade duma tensão de rotura estar dentro dum determinado intervalo, em função do número de espécimes ensaiados.

médio σ_0. Na fig. 19 estão indicadas as probabilidades de que o valor mais provável da tensão de rotura que se pretende determinar, e de que se conhece o valor σ_0, média de n valores, caia dentro dos intervalos

$$\sigma_0 \left(1 \pm \frac{\rho}{2}\right)$$

$$\sigma_0 (1 \pm \rho) \quad \text{e}$$

$$\sigma_0 (1 \pm 2\rho) \,.$$ [33]

Por exemplo, seja $\rho = 0{,}10$ e suponhamos que se ensaiaram 6 cubos à compressão tendo-se obtido a tensão de rotura média de 250 kg/cm². Então, o valor mais provável da tensão de rotura do betão de que ensaiámos os 6 cubos tem uma probabilidade de 69 % de cair dentro do intervalo $250 \pm 12{,}5$ kg/cm², uma probabilidade de de 92 % de cair dentro do intervalo 250 ± 25 kg/cm² e uma probabilidade de 99 % de cair dentro do intervalo 250 ± 50 kg/cm².

Como mostra o andamento das curvas desta fig. 19, esta probabilidade cresce bastante até $n = 6$, aumentando mais lentamente para maiores valores de n de tal sorte que aumentando o número de espécimes acima de 6, o que se ganha em precisão não é pràticamente compensado pelo acréscimo de trabalho que representa a execução dum grande número de espécimes.

No estudo dos betões em laboratório, cada tensão de rotura deve pois ser definida pela média das tensões de rotura de 6 espécimes executados todos nas mesmas condições.

15.5. Resistências aceitáveis do betão. — O betão deve ser considerado aceitável quando a sua resistência ao fim de 28 dias de conservação em água ou em atmosfera saturada a cerca de 20°C for igual ou superior à indicada nos diagramas da fig. 20. [2] Se a resistência for inferior à indicada, deve procurar-se a causa do insucesso na quantidade ou qualidade da água, na dosagem de areia, no excesso de elementos finos desta, etc.

Nesta figura os valores de $\frac{A}{C}$ devem-se considerar como os máximos que se podem empregar.

16. Controle do betão na obra

16.1. Número e frequência dos ensaios de controle. — Para o controle do betão na obra o número máximo de 3 espécimes de cada vez é suficiente, pois não interessa definir certos valores da resistência com muita precisão, sendo mais impor-

* Designamos por *desvio quadrático médio relativo* o quociente do desvio quadrático médio de cada valor duma série de ensaios executados todos rigorosamente nas mesmas condições, pelo valor médio dos termos dessa série. O desvio quadrático médio é a raíz quadrada do quociente da soma dos quadrados das diferenças entre cada valor dessa série e o valor médio, pelo número de termos da série menos 1.

Este valor determina-se a partir dos resultados do ensaio duma grande série de espécimes (não inferior a 20 ou 30) executados todos nas mesmas condições.

tante a obtenção de grande número de ensaios ao longo do tempo que dura a fabricação do betão. De facto, dispondo-se de ensaios com grande frequência torna-se mais fácil detectar possíveis variações nas amassaduras, erros de dosagem, ou quaisquer outros que façam alterar as qualidades do betão.

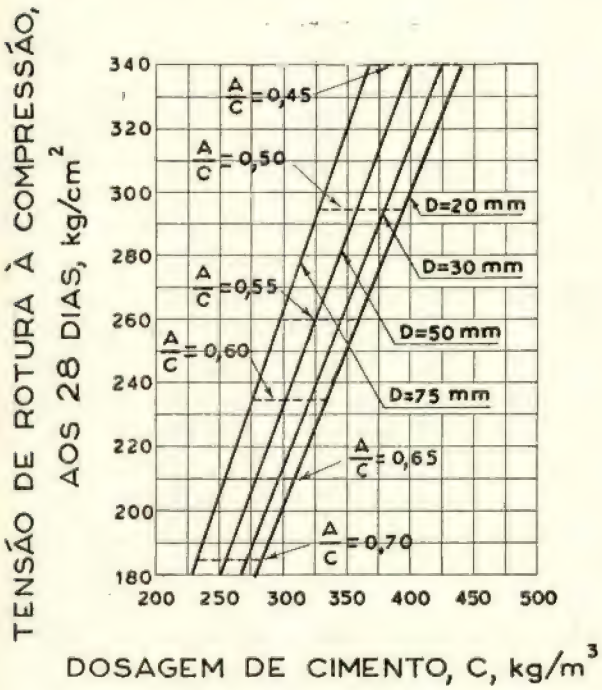


Fig. 20 — Resistências aceitáveis do betão a 28 dias em função da dosagem de cimento e da máxima dimensão do inerte, D. Os valores de $\frac{A}{C}$ indicados devem ser considerados como limites superiores

Uma boa frequência dos ensaios de controle é de 3 espécimes por cada 50 m³ de betão fabricado. [2], [13]

Os três espécimes podem ser feitos todos ao mesmo tempo (§ 17.3) ou, o que é preferível, pode distribuir-se a sua execução ao longo do trabalho diário, fabricando por exemplo um no princípio do dia, outro no meio e outro no fim do dia.

16.2. Precisão dos ensaios. — Embora seja difícil dizer, no estado actual dos nossos conhecimentos, qual a precisão com que se conhecem as tensões de rotura do betão fabricado no estaleiro duma obra, pode no entanto fazer-se uma classificação dos estaleiros de acordo com o desvio médio relativo da tensão de rotura do betão de diferentes amassaduras que se fabrica nesse estaleiro, tal como se indica no quadro seguinte. [35]

Desvio médio relativo	Grau de controle do betão (classificação do estaleiro)
0,05	Laboratório
0,10	Excelente, aproximando-se da precisão de laboratório
0,12	Excelente
0,15	Bom
0,18	Razoável
0,20	Medíocre
0,25	Mau

Nestas condições, admitindo que a distribuição das tensões de rotura dum betão é uma distribuição normal, e sendo ρ o desvio quadrático médio relativo que caracteriza um betão de tensão de rotura média σ_0 fabricado num dado estaleiro, as frequências dos valores das tensões de rotura que caiem fora de determinados intervalos estão indicadas no quadro seguinte. [34]

Intervalo	Frequência dos valores que caiem fora dos intervalos, %
$\sigma_0 (1 \pm 0{,}5\rho)$	62
$\sigma_0 (1 \pm \rho)$	32
$\sigma_0 (1 \pm 1{,}5\rho)$	13
$\sigma_0 (1 \pm 2\rho)$	4,5
$\sigma_0 (1 \pm 3\rho)$	0,3

Assim, por exemplo, supondo um estaleiro definido por um desvio médio relativo de 0,15, no qual se fabrica um betão que tem uma tensão de rotura média de 250 kg/cm², serão as seguintes as frequências das tensões de rotura que cairão fora dos intervalos indicados:

Intervalo kg/cm²	Frequência das tensões que caiem fora dos intervalos, %
231 a 269	62
212 a 288	32
194 a 307	13
175 a 325	4,5
138 a 362	0,3

16.3. Relação entre a tensão de rotura média e a dispersão das resistências. — Segundo observações efectuadas no Road Research Laboratory, à medida que a resistência média do betão cresce a dispersão das resistências diminue. [36] Assim,

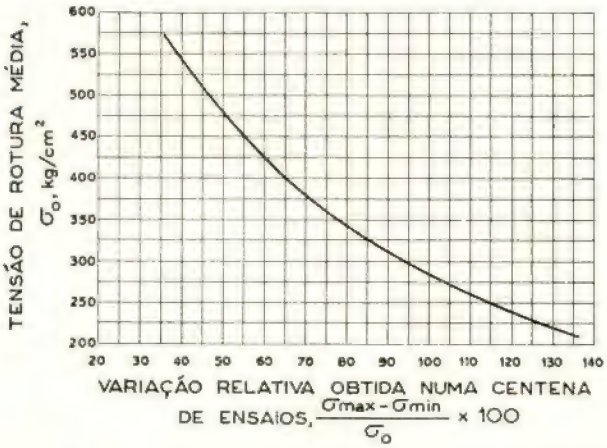


Fig. 21 — Variação da dispersão das tensões de rotura máxima e mínima com o valor médio da resistência, σ_o.

na fig. 21 está indicada a curva de variação da relação $\frac{\sigma_{máx.} - \sigma_{min.}}{\sigma_o}$ com σ_o, onde

$\sigma_{máx.}$ = Tensão de rotura máxima obtida numa série de uma centena de ensaios do mesmo betão fabricado no mesmo estaleiro e nas mesmas condições

$\sigma_{min.}$ = Idem, mínima

σ_o = Idem, média.

Esta figura mostra como é muito mais importante controlar o betão de fraca resistência do que o de alta resistência, pois as dispersões dos primeiros são muitos maiores.

16.4 Tensão de rotura mínima que se deve obter num determinado estaleiro fabricando um dado betão. — Segundo observações realizadas nos E. U. A., [27] a classificação do grau de controle da fabricação do betão em estaleiro, em função da relação entre a tensão de rotura mínima que nele se obtém e a tensão de rotura média é a seguinte:

Grau de controle	$\frac{\sigma_{min.}}{\sigma_o}$
Mau	0,42 a 0,58
Razoável	0,58 a 0,65
Bom	0,65 a 0,72
Excelente	0,72 a 0,88
Laboratório	0,88 a 1

Este critério é mais simples do que o indicado no § 16.2 pois não necessita o conhecimento do desvio médio relativo, que exige um grande número de ensaios.

Os critérios são aliás equivalentes na hipótese de se tomar para σ_{min} o valor da tensão que tem uma frequência da ordem de 1 a 4 % numa distribuição normal.

16.5. Aplicação destes critérios ao controle do fabrico do betão. — Os três critérios que acabámos de enunciar para a interpretação lógica dos resultados dos ensaios de controle são extremamente importantes.

Assim, se no decorrer do trabalho se observarem frequências de desvios maiores do que as indicadas, ou tensões mínimas inferiores às indicadas, *devem procurar-se as causas que originaram estas dispersões*, pois estas deixarão de ser acidentais, isto é, incontroláveis, para serem devidas a quaisquer causas detectáveis, tais como erros nas dosagens de água, de cimento ou de areia, humidade dos materiais, defeitos nas amassaduras, variabilidade nas condições da conservação, falta de planura das faces dos cubos de ensaio, etc.

17. Fabricação dos espécimes de ensaio e de controle do betão.

17.1. Tipos de ensaios de controle. — Os ensaios de controle da fabricação do betão que é costume realizar são de compressão e de flexão. O ensaio de compressão é o ensaio mais importante, e o ensaio de flexão é realizado sobretudo quando interessa a resistência do betão à tracção.

Os ensaios de flexão tomam um papel particularmente importante quando o inerte está inicialmente sujo, envolvido por uma película de argila ou de pó; então o ensaio de flexão pode detectar com muito mais rigor a falta de limpesa do material do que o ensaio de compressão. De facto, quando as tensões de rotura por compressão não variarem pràticamente e as de flexão sofrerem uma quebra sensível, poder-se-á atribuir esta anomalia à falta de limpesa do inerte, devendo então proceder-se a um controle mais eficaz da sua lavagem.

17.2. Dimensões dos espécimes. — A menor dimensão dos espécimes de ensaio deve ser escolhida de tal sorte que seja 3 vezes, ou de preferência 4 vezes, a máxima dimensão do inerte. [3], [29]

No caso dos ensaios de compressão é costume utilizar, entre nós, cubos com 20 cm de aresta, para betões com uma máxima dimensão de inerte até 50 mm. Quando a máxima dimensão é superior a 50 mm, é necessário utilizar cubos de maiores dimensões.

No caso dos ensaios de flexão, podem utilizar-se vigas com uma secção de 10×15 cm para betões com inerte até 40 mm. Para inertes de 50 mm é necessário utilizar vigas com 15×15 cm.

As vigas devem ter um comprimento de pelo menos três vezes a altura. Quando se utilizar o ensaio de flexão sob a acção de duas cargas (momento flector constante) estas devem estar espaçadas duma distância pelo menos igual à altura da viga.

17.3. Enchimento dos moldes. — A operação da distribuição do betão pelos moldes é uma das mais importantes, pois poucas são as betoneiras que conduzem a uma homogeneidade perfeita da mistura.

Se o enchimento dos moldes se fizer com o betão de uma única amassadura, estes não devem ser cheios duma só vez, devendo cada espécime ser constituído por pequenas porções de betão retiradas de diferentes partes da betoneira, ou de diferentes zonas do betão amassado, se a extracção da amostra para ensaio se faz depois da saída do betão da betoneira.

No caso de se fazer mais de uma amassadura, como por exemplo no caso do controle do fabrico do betão duma determinada obra, então é boa norma ir enchendo parcialmente os moldes, por exemplo 1/3 ou 1/4 do seu volume, com pequenas porções tiradas de cada uma das diferentes amassaduras. Não há, em geral, inconveniente se se passarem 15 a 20 minutos entre a amassadura da primeira porção do betão e a da última, se se evitar a acção duma dissecação intensa, colocando os moldes em local abrigado do sol e do vento.

Na colocação do betão nos moldes deve ter-se o cuidado de utilizar os mesmos processos que na obra, vibração, apiloamento, picagem, etc.

17.4. Conservação dos espécimes. — Depois de moldados, os espécimes devem ser conservados 24 horas nos moldes, fora do ar livre; após a desmoldagem deverão ser conservados de preferência dentro dum depósito com água, ou sobre uma grade conservada acima dum lençol de água, dentro dum pequeno espaço fechado (conservação em atmosfera húmida).

Podem também ser conservados dentro de areia molhada, desde que haja uma camada com algumas dezenas de centímetros que os isole da atmosfera. A areia deve ser frequentemente regada (intervalo de 24 horas), pois de contrário secará e a conservação não se fará em atmosfera húmida.

Os ensaios deverão ser realizados nas 24 horas que se seguem à saída do espécime do seu meio de conservação, pois o seu estado de humidade tem uma grande influência no valor da tensão de rotura.

Estas regras de conservação dos espécimes aplicam-se tanto aos espécimes de estudo do betão como aos de controle.

A conservação dos espécimes de controle do betão nas condições da estrutura não é conveniente, pois a tensão de rotura obtida seria muito diferente da do betão da estrutura. Com efeito, assim, as secagens do betão da estrutura e do espécime são muito diferentes pois as relações das áreas das superfícies das faces expostas para os volumes também o são, donde resulta uma grande diferença nas tensões iniciais devidas às variações de volume do betão, as quais na obra são mais ou menos impedidas, enquanto as dos espécimes não o são, nas densidades de fissuração, etc.

Estas causas podem dar lugar a grandes dispersões, e o valor da tensão de rotura assim obtido não é mais significativo do que o determinado em condições bem definidas.

Com efeito, o conhecimento da tensão de rotura do betão conservado em condições bem definidas e invariáveis com as condições da obra, tem a vantagem de tornar comparáveis betões de estruturas em condições de conservação muito diferentes.

17.5. Planura das faces de ensaio dos cubos. — Ao ensaiar os cubos de betão é necessário tomar precauções especiais no que respeita à planura das faces. De facto, têm-se observado muitas vezes afastamentos da planura das faces dos cubos que vão até 0,5 mm em espécimes fabricados em laboratório e em moldes de aço. Sobre espécimes fabricados em estaleiro, têm-se obser-

vado afastamentos de 1 a 2 mm. Estes afastamentos da planura das faces conduzem a abaixamentos notáveis nas resistências, e a grandes dispersões. [31]

Segundo observações efectuadas por R. L'Hermite, [31] as tensões de rotura obtidas em cubos de betão com superfícies desempenadas com a precisão de 0,01 mm é 22 % superior à tensão de rotura de cubos idênticos com as superfícies desempenadas com a precisão de 0,3 mm. Os desvios quadráticos médios relativos são de 0,05 no primeiro caso e de 0,10 no segundo.

É por isso indispensável proceder à planificação das faces de ensaio dos cubos sobre um plano de precisão, rectificado com uma precisão da ordem de 0,05 mm pelo menos. Esta planificação faz-se por meio da utilização duma delgada camada de pasta de cimento colocada entre a face do cubo a rectificar e a superfície do plano.

Em vez de cimento, que pode ser de presa e de endurecimento rápidos pode-se utilizar uma mistura de flor de enxofre e argila refractária; esta mistura é aplicada a quente, com o enxofre em fusão. A vantagem desta mistura reside na rapidez com que é possível preparar as faces dos cubos.

A utilização de moldes rectificados com uma precisão igual ou superior a 0,05 mm, constitui contudo o processo mais cómodo de obter boas superfícies de ensaio.

CAPÍTULO VI

Permeabilidade do betão e das argamassas

18. O coeficiente de permeabilidade do betão. — Uma das propriedades que muitas vezes se deseja que o betão possua é a impermeabilidade.

A obtenção da impermeabilidade absoluta no betão é impossível, mas podem-se obter betões com uma permeabilidade extremamente reduzida.

A permeabilidade do betão é medida pelo seu *coeficiente de permeabilidade*, [37] K, o qual se define como sendo o caudal horário Q, por unidade de superfície e por unidade de gradiente de pressão hidráulica $\frac{p}{L}$, que passa através dum espécime de secção S e de espessura ou altura L, sob o impulso da pressão p:

$$K = \frac{Q \times L}{S \times p}.$$

K tem as dimensões duma velocidade, cm/h, na hipótese da pressão p ser expressa em altura de água.

A condição primordial para que um betão tenha um baixo coeficiente de permeabilidade é que ele seja bem executado: dosagens de água e cimento adequadas, granulometria bem escolhida, inertes impermeáveis, etc.

19. Influência da consistência. — A fig. 22 mostra a influência das dosagens de cimento e de água sobre o coeficiente de permeabilidade. [13]

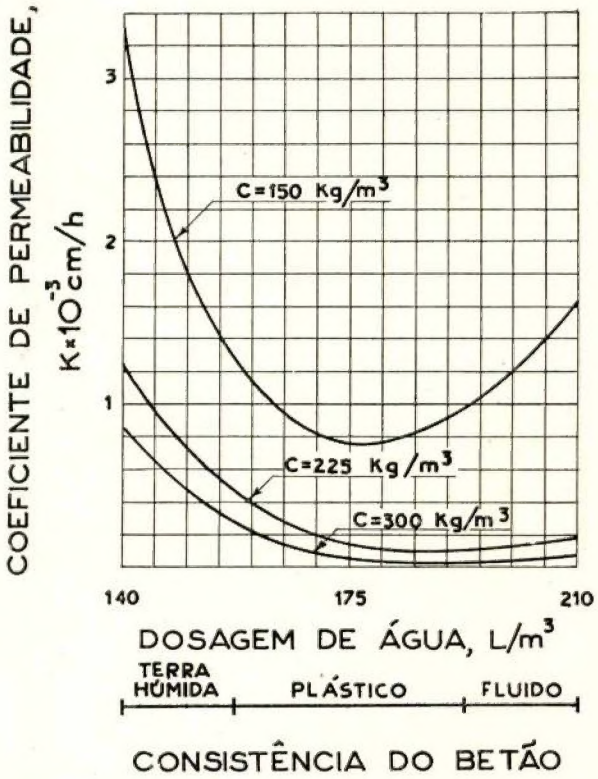


Fig. 22 — Variação do coeficiente de permeabilidade dum determinado betão com as dosagens de cimento e de água. Espécimes com 28 dias de idade.

Dos diagramas desenhados nesta figura conclui-se que, para uma mesma dosagem de cimento, o *coeficiente de permeabilidade mínimo* é obtido com uma dosagem de água tal que o betão *seja plástico*: se o betão é seco, é difícil colocar e ficará permeável, por não atingir a compacidade necessária.

O betão vibrado (de consistência plástica) é o que conduz aos mais baixos coeficientes de permeabilidade.

20. Coeficiente de permeabilidade das argamassas. — Na fig. 23 está desenhado um diagrama da influência da dosagem de cimento sobre

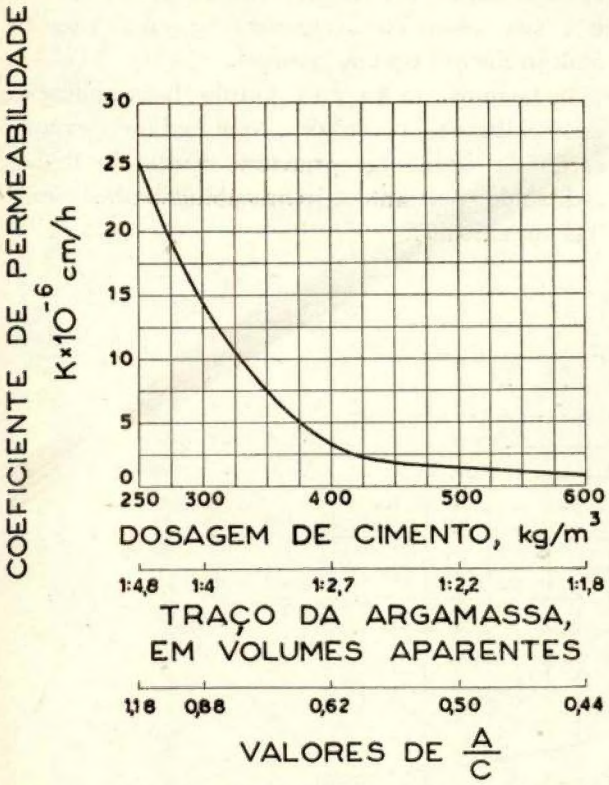


Fig. 23 — Variação do coeficiente de permeabilidade duma argamassa plástica com a dosagem de cimento. Espécimes com 28 dias de idade.

o coeficiente de permeabilidade duma argamassa plástica. Como se vê, a argamassa só começa a ter pequena permeabilidade para dosagens de cimento superiores a 400 kg/m³.

21. Influência de $\frac{A}{C}$ e da máxima dimensão do inerte. — Na fig. 24 está representada a variação do coeficiente de permeabilidade de betões da mesma consistência com a relação $\frac{A}{C}$ e com a máxima dimensão do inerte. [37] [38] Como se vê, os inertes de grandes dimensões conduzem a betões mais permeáveis do que os de menores dimensões.

22. Influência da idade. — A idade do betão também influe notàvelmente no valor do coeficiente. [38] De facto na fig. 25 está indicada a variação relativa do coeficiente de permeabilidade dum determinado betão com a idade, tomando para termo de comparação o coeficiente de permeabilidade obtido com 60 dias de idade.

Este resultado é válido desde que não haja fendas devidas à contracção, as quais existirão

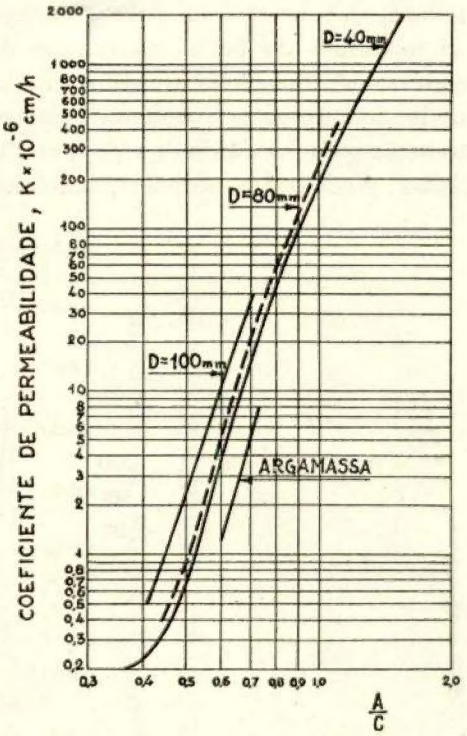


Fig. 24 — Variação do coeficiente de permeabilidade de betões de iguais consistências com $\frac{A}{C}$ e com a máxima dimensão do inerte, D. Espécimes com 60 dias de idade.

com tanta maior probabilidade quanto mais velho for o betão.

23. Ensaios de permeabilidade. — São bastante difíceis de realizar pois a dispersão é muito grande (em betão de laboratório conta-se normalmente com um desvio médio relativo da ordem de 0,30); a medição do caudal é também delicada pois a aplicação da expressão que define o coeficiente K implica que o caudal de entrada de água no espécime seja igual ao caudal de saída (isto é, que o espécime tenha absorvido toda a água), que não haja evaporação na face de saída da água, etc.

Os ensaios são normalmente realizados sobre cubos; a aplicação da água sob pressão é feita numa das faces, e a recolha da água é feita na face oposta. As restantes faces são impermeabi-

lizadas de modo a obter-se um escoamento laminar na massa do cubo.

24. Adições ao betão. — Se se desejar aumentar a impermeabilidade do betão além dos limites indicados, é necessário utilizar substâncias que se misturam ao betão na ocasião da sua amassadura, ou utilizar revestimentos protectores.

São de dois tipos as substâncias que se juntam ao betão para lhe diminuir a permeabilidade:

a) *Fillers:* pó de pedra, pozolana, diatomite, etc., que sòmente devem ser adicionados a betões pobres. Estas substâncias actuam por dois modos: aumentando a plasticidade ou trabalhabilidade do betão e obturando os seus poros.

No caso de betões ricos não se devem adicionar estes fillers, pois o seu emprego conduz a um excesso da quantidade de água de amassadura, o que aumenta a permeabilidade sem nenhuma das vantagens anteriores.

b) *Hidrófugos:* há, no comércio, muitos produtos hidrófugos que se encorporam na massa do betão, baseados em estearatos, fluatos, betumes, argilas coloidais que se expandem na água (do tipo bentonite), etc. Muitos destes produtos melhoram também a trabalhabilidade do betão.

Os plastificantes e os agentes introdutores de ar também melhoram a impermeabilidade.

25. Revestimentos protectores. — Os revestimentos protectores devem ser aplicados conforme as substâncias com as quais o betão está em contacto. Há muitos tipos de revestimentos e a sua descrição e enumeração sai já fora do âmbito deste pequeno manual.

Já falámos, no § 6 do Capítulo II, da aplicação de membranas protectoras que evitam a evaporação da água nas primeiras idades do betão, reduzindo portanto a permeabilidade das camadas superficiais.

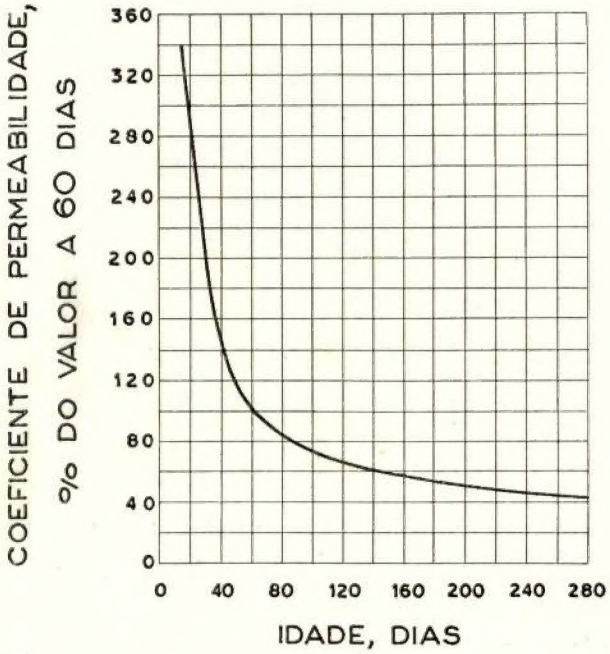


Fig. 25 — Influência da idade no valor do coeficiente de permeabilidade do betão.

A carbonatação do hidróxido de cálcio libertado pela hidrólise dos componentes do cimento também fornece um óptimo meio de impermeabilização superficial do betão. Esta acção devida ao anidrido carbónico da atmosfera é, contudo, muito lenta, penetrando apenas de poucos milímetros abaixo da superfície do betão ao fim de alguns meses.

É por este facto que é útil deixar alguns meses ao ar livre o betão que vai estar submetido à acção de líquidos.

Não se deve contudo esquecer que a eficácia deste tratamento só se manifesta quando o líquido com o qual o betão vai estar em contacto não dissolve o carbonato de cálcio, em particular quando não possui anidrido carbónico livre.